

水利电力部电力建设总局编

农村供电规划手册



上海社会科学院图书馆
图书刊处理章

中国工业出版社

Y232
S614
c1

0072022

农村供电规划手册

水利电力部电力建设总局编



00329053

上海社会科学院图书馆
图书处理

上海社会科学院
图书馆藏书

中国工业出版社

在建設农村供电设备之前,如果规划不当,除了浪费大量投資之外,还将对以后的运行、维护以及效益的发挥,产生深远的不良后果。本书結合我国实际情况,根据农村供电的规划經驗,介紹有关农村供电规划的一些方法和必要的資料。在有些章节中还举了例題,說明这些方法和資料的使用步骤。

本书供农村供电的规划、設計人員使用,也可作大专学校农业电气化及动力經濟专业师生的参考书。

农村供电规划手册

水利电力部电力建設总局編

*

水利电力部办公厅图书編輯部編輯(北京阜外月坛南首房)

中国工业出版社出版(北京修德園路丙10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本850×1168 $\frac{1}{2}$ ·印張7 $\frac{13}{16}$ ·插頁3·字数207,000

1964年2月北京第一版·1964年2月北京第一次印刷

印数0001—6,810·定价(科六)1.40元

*

統一书号: 15165·2911(水电-398)

目 录

第一章 一般知識	1
1-1 常用单位換算表及三角函数表	1
1-2 电工学基本定律及計算公式	12
1-3 农村供电规划常用术语解釋	18
1-4 农村供电规划常用图例及符号	19
第二章 农村供电方案的技术經濟比較方法及发送变电工程綜合經濟指标	22
2-1 概述	22
2-2 供电方案的技术經濟比較方法	22
2-3 发送变电工程綜合經濟指标	26
2-4 发送变电工程綜合經濟指标的編制方法	37
第三章 农村电力負荷的計算	66
3-1 概述	66
3-2 編制电力負荷规划的基本条件	66
3-3 农村电力負荷的特点	67
3-4 农村用戶有功电力負荷的計算	69
3-5 农村电力系统 and 电力網有功电力負荷的計算	75
3-6 农村电力負荷曲綫	78
第四章 农村供电电源的选择	95
4-1 农村供电电源的种类及其特点	95
4-2 电力平衡	98
4-3 农村火电厂的厂址选择	99
4-4 区域电力系统向农村供电的經濟合理范围	101
第五章 农村电力網的规划	110
5-1 概述	110
5-2 电压的选择及各級电压的供电范围	110
5-3 农村变电所的布局	117
5-4 农村电力網的接綫方式	119

表 1-3 体积与容积换算表

单位名称	市 石	市 斗	市 升	米 ³	呎 ³	英加侖	美加侖
1 市 石	1	10	100	0.1	3.53	22	26.42
1 市 斗	0.1	1	10	0.01	0.353	2.2	2.642
1 市 升	0.01	0.1	1	0.001	0.0353	0.22	0.264
1 米 ³	10	100	1000	1	35.31	220	264.2
1 呎 ³	0.28	2.83	28.32	0.0283	1	6.23	7.48
1 英加侖	0.045	0.455	4.55	0.0045	0.16	1	1.2
1 美加侖	0.038	0.3785	3.785	0.0038	0.1336	0.833	1

表 1-4 重量换算表

单位名称	吨	公 斤	克	市 斤	英 吨	英 磅	普 特
1 吨	1	1000	—	2000	0.98	2204.6	61.05
1 公 斤	0.001	1	1000	2	—	2.2	0.61
1 克	—	0.001	1	0.002	—	—	—
1 市 斤	0.0005	0.5	500	1	—	1.1	0.305
1 英 吨	—	—	—	—	1	—	—
1 英 磅	—	—	—	—	—	1	—
1 普 特	—	16.38	—	32.76	—	36.04	1

表 1-5 流量换算表

单位名称	公升/秒	米 ³ /时	呎 ³ /秒	英加侖/分	美加侖/分
1公升/秒	1	3.6	0.0353	13.2	15.85
1米 ³ /时	0.278	1	0.0098	3.67	4.4
1呎 ³ /秒	28.32	102	1	373.7	448.8
1英加侖/秒	—	—	—	1	—
1美加侖/秒	0.063	0.227	0.0022	0.833	1

表 1-6 速度换算表

单位名称	公里/时	米/分	米/秒	呎/分	呎/秒
1公里/时	1	16.67	0.278	54.68	0.91
1米/分	0.06	1	0.0167	3.28	0.0547
1米/秒	3.6	60	1	197	3.28
1呎/分	0.0183	0.305	0.0051	1	0.0167
1呎/秒	1.097	18.29	0.305	60	1

表 1-7 压力换算表

单 位 名 称	公斤/厘米 ²	水 柱 (15°C)	水銀柱 (0°C)	磅/吋 ²	水 柱 (15°C)	水銀柱 (0°C)
		米	毫米		呎	吋
1公斤/厘米 ²	1	10.01	735.6	14.22	32.84	28.96
1米(水柱15°C)	0.09991	1	73.49	1.421	3.281	2.893
1毫米(水銀柱0°C)	0.001359	0.01361	1	0.01934	0.04464	0.03937
1磅/吋 ²	0.07031	0.7037	51.71	1	2.309	2.036
1呎(水柱15°C)	0.03045	0.3048	22.4	0.4331	1	0.8819
1吋(水銀柱0°C)	0.03453	0.3456	25.4	0.4912	1.134	1

注：1大气压=1.033公斤/厘米²=14.7磅/吋²=10.33米水柱=760毫米水銀柱。

表 1-8 能量单位换算表

单位名称	公斤-米	瓦-时	焦 尔	大 卡	英热单位
1 公斤-米	1	2.72×10^{-6}	9.81	2.34×10^{-3}	9.29×10^{-3}
1 瓦-时	3.67×10^5	1	3.6×10^6	860	3412
1 焦耳	0.102	2.78×10^{-7}	1	2.39×10^{-4}	948×10^{-6}
1 大卡	427	1.16×10^{-3}	4186	1	3.969
1 英热单位	107.6	2.93×10^{-4}	1.05×10^{-4}	0.252	1

注: 1 焦耳 = 1 瓦-秒。1 瓦-时 = 1 度(电度)。

表 1-9 功率单位换算表

单位名称	瓦	公斤-公尺/秒	马 力	英制马力	大卡/秒
1 瓦	1	0.102	1.36×10^{-3}	1.341×10^{-3}	2.39×10^{-4}
1 公斤-米/秒	9.81	1	1.3×10^{-2}	1.35×10^{-3}	2.34×10^{-3}
1 马力	736	75	1	0.987	0.176
1 英制马力	745	76	1.013	1	—
1 大卡/秒	4.19×10^3	427	5.69	—	1

表 1-10 三角函数换算表

cos φ	φ	sin φ	tg φ	cos φ	φ	sin φ	tg φ
1	0°	0	0	0.72	43°57'	0.694	0.964
0.99	8°06'	0.141	0.143	0.71	44°46'	0.704	0.992
0.98	11°29'	0.199	0.203	0.70	45°34'	0.714	1.020
0.97	14°04'	0.243	0.251	0.69	46°22'	0.724	1.049
0.96	16°16'	0.280	0.292	0.68	47°09'	0.733	1.078
0.95	18°12'	0.312	0.329	0.67	47°56'	0.742	1.108
0.94	19°57'	0.341	0.363	0.66	48°42'	0.751	1.138
0.93	21°34'	0.368	0.395	0.65	49°27'	0.759	1.169
0.92	23°04'	0.392	0.426	0.64	50°12'	0.769	1.201
0.91	24°30'	0.415	0.456	0.63	50°57'	0.777	1.233
0.90	25°51'	0.436	0.484	0.62	51°41'	0.785	1.265
0.89	27°08'	0.456	0.512	0.61	52°25'	0.792	1.299
0.88	28°21'	0.475	0.540	0.60	53°08'	0.800	1.334
0.87	29°32'	0.493	0.567	0.59	53°51'	0.807	1.368
0.86	30°41'	0.510	0.593	0.58	54°33'	0.815	1.403
0.85	31°47'	0.527	0.620	0.57	55°15'	0.821	1.441
0.84	32°52'	0.543	0.646	0.56	56°57'	0.828	1.482
0.83	33°54'	0.558	0.672	0.55	56°38'	0.835	1.520
0.82	34°55'	0.573	0.698	0.54	57°19'	0.842	1.559
0.81	35°54'	0.586	0.724	0.53	58°00'	0.848	1.600
0.80	36°52'	0.600	0.750	0.52	58°40'	0.854	1.643
0.79	37°11'	0.613	0.776	0.51	59°20'	0.860	1.686
0.78	38°44'	0.626	0.802	0.50	60°00'	0.866	1.732
0.77	39°39'	0.638	0.829	0.45	63°15'	0.893	1.984
0.76	40°32'	0.650	0.855	0.40	66°25'	0.916	2.290
0.75	41°25'	0.661	0.882	0.35	69°31'	0.937	2.674
0.74	42°16'	0.673	0.909	0.30	72°32'	0.954	3.180
0.73	43°07'	0.683	0.936	0.25	75°31'	0.968	3.867

表 1-11 正弦余弦函数表

sin	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	度
0°	0.0000	0.0017	0.0035	0.0052	0.0070	0.0087	0.0105	0.0122	0.0140	0.0157	89
1	0.0175	0.0192	0.0209	0.0227	0.0244	0.0262	0.0279	0.0297	0.0314	0.0332	88
2	0.0349	0.0366	0.0384	0.0401	0.0419	0.0436	0.0454	0.0471	0.0488	0.0506	87
3	0.0523	0.0541	0.0558	0.0576	0.0593	0.0610	0.0628	0.0645	0.0663	0.0680	86
4	0.0698	0.0715	0.0732	0.0750	0.0767	0.0785	0.0802	0.0819	0.0837	0.0854	85
5	0.0872	0.0889	0.0906	0.0924	0.0941	0.0958	0.0976	0.0993	0.1011	0.1028	84
6	0.1045	0.1063	0.1080	0.1097	0.1115	0.1132	0.1149	0.1167	0.1184	0.1201	83
7	0.1219	0.1236	0.1253	0.1271	0.1288	0.1305	0.1323	0.1340	0.1357	0.1374	82
8	0.1392	0.1409	0.1426	0.1444	0.1461	0.1478	0.1495	0.1513	0.1530	0.1547	81
9	0.1565	0.1582	0.1599	0.1616	0.1633	0.1650	0.1668	0.1685	0.1702	0.1719	80
10	0.1736	0.1754	0.1771	0.1788	0.1805	0.1822	0.1840	0.1857	0.1874	0.1891	79
11	0.1908	0.1925	0.1942	0.1959	0.1977	0.1994	0.2011	0.2028	0.2045	0.2062	78
12	0.2079	0.2096	0.2113	0.2130	0.2147	0.2164	0.2181	0.2198	0.2215	0.2232	77
13	0.2250	0.2267	0.2284	0.2300	0.2317	0.2334	0.2351	0.2368	0.2385	0.2402	76
14	0.2419	0.2436	0.2453	0.2470	0.2484	0.2504	0.2521	0.2538	0.2554	0.2571	75
15	0.2588	0.2605	0.2622	0.2639	0.2656	0.2672	0.2689	0.2706	0.2723	0.2740	74
16	0.2756	0.2773	0.2790	0.2807	0.2823	0.2840	0.2857	0.2874	0.2890	0.2907	73
17	0.2924	0.2940	0.2957	0.2974	0.2990	0.3007	0.3024	0.3040	0.3057	0.3074	72
18	0.3090	0.3107	0.3123	0.3140	0.3156	0.3173	0.3190	0.3206	0.3223	0.3239	71
19	0.3256	0.3272	0.3289	0.3305	0.3322	0.3338	0.3355	0.3371	0.3387	0.3404	70
20	0.3420	0.3437	0.3453	0.3469	0.3486	0.3502	0.3518	0.3535	0.3551	0.3567	69
21	0.3584	0.3600	0.3616	0.3633	0.3649	0.3665	0.3681	0.3697	0.3714	0.3730	68
22	0.3746	0.3762	0.3778	0.3795	0.3811	0.3827	0.3843	0.3859	0.3875	0.3891	67
23	0.3907	0.3923	0.3939	0.3955	0.3971	0.3987	0.4003	0.4019	0.4037	0.4051	66
24	0.4067	0.4083	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4163	0.4179	0.4195	0.4210	65
25	0.4226	0.4242	0.4258	0.4274	0.4289	0.4305	0.4321	0.4337	0.4352	0.4368	64
26	0.4384	0.4399	0.4415	0.4431	0.4446	0.4462	0.4478	0.4493	0.4509	0.4529	63
27	0.4540	0.4555	0.4571	0.4586	0.4602	0.4617	0.4633	0.4648	0.4664	0.4679	62
28	0.4695	0.4710	0.4726	0.4741	0.4756	0.4772	0.4787	0.4802	0.4818	0.4833	61
29	0.4848	0.4863	0.4879	0.4894	0.4909	0.4924	0.4939	0.4955	0.4970	0.4985	60
30	0.5000	0.5015	0.5030	0.5045	0.5060	0.5075	0.5090	0.5105	0.5120	0.5135	59

sin	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	度
31	0.5150	0.5165	0.5180	0.5195	0.5210	0.5225	0.5240	0.5255	0.5270	0.5284	58
32	0.5299	0.5314	0.5329	0.5344	0.5358	0.5373	0.5387	0.5402	0.5417	0.5432	57
33	0.5446	0.5461	0.5476	0.5490	0.5505	0.5519	0.5534	0.5548	0.5563	0.5577	56
34	0.5592	0.5606	0.5621	0.5635	0.5650	0.5664	0.5678	0.5693	0.5707	0.5721	55
35	0.5734	0.5749	0.5764	0.5779	0.5793	0.5807	0.5821	0.5835	0.5850	0.5864	54
36	0.5878	0.5892	0.5906	0.5920	0.5934	0.5948	0.5962	0.5976	0.5990	0.6004	53
37	0.6018	0.6032	0.6046	0.6060	0.6074	0.6088	0.6101	0.6115	0.6129	0.6143	52
38	0.6157	0.6170	0.6184	0.6198	0.6211	0.6225	0.6239	0.6252	0.6266	0.6280	51
39	0.6293	0.6307	0.6320	0.6334	0.6347	0.6361	0.6374	0.6388	0.6401	0.6414	50
40	0.6428	0.6441	0.6455	0.6469	0.6481	0.6494	0.6508	0.6521	0.6534	0.6547	49
41	0.6561	0.6574	0.6587	0.6600	0.6613	0.6626	0.6639	0.6652	0.6665	0.6678	48
42	0.6691	0.6704	0.6717	0.6730	0.6743	0.6756	0.6769	0.6782	0.6794	0.6807	47
43	0.6820	0.6833	0.6845	0.6858	0.6871	0.6884	0.6896	0.6909	0.6921	0.6934	46
44	0.6947	0.6959	0.6972	0.6984	0.6997	0.7009	0.7022	0.7034	0.7046	0.7059	45
45	0.7071	0.7083	0.7096	0.7108	0.7120	0.7133	0.7145	0.7157	0.7169	0.7181	44
46	0.7193	0.7206	0.7218	0.7230	0.7242	0.7254	0.7266	0.7278	0.7290	0.7302	43
47	0.7314	0.7325	0.7337	0.7349	0.7361	0.7373	0.7385	0.7396	0.7408	0.7420	42
48	0.7431	0.7443	0.7455	0.7466	0.7478	0.7490	0.7501	0.7513	0.7524	0.7536	41
49	0.7547	0.7559	0.7570	0.7581	0.7593	0.7604	0.7615	0.7627	0.7635	0.7649	40
50	0.7660	0.7672	0.7683	0.7694	0.7705	0.7716	0.7727	0.7738	0.7749	0.7760	39
51	0.7771	0.7782	0.7793	0.7804	0.7815	0.7826	0.7837	0.7848	0.7859	0.7869	38
52	0.7880	0.7891	0.7902	0.7912	0.7923	0.7934	0.7944	0.7955	0.7965	0.7976	37
53	0.7986	0.7997	0.8007	0.8018	0.8028	0.8039	0.8049	0.8059	0.8070	0.8080	36
54	0.8090	0.8100	0.8111	0.8121	0.8131	0.8141	0.8151	0.8161	0.8171	0.8181	35
55	0.8192	0.8202	0.8211	0.8221	0.8231	0.8241	0.8251	0.8261	0.8271	0.8281	34
56	0.8290	0.8300	0.8310	0.8320	0.8329	0.8339	0.8349	0.8358	0.8368	0.8377	33
57	0.8387	0.8396	0.8406	0.8415	0.8425	0.8434	0.8443	0.8453	0.8462	0.8471	32
58	0.8480	0.8490	0.8499	0.8508	0.8517	0.8526	0.8536	0.8545	0.8554	0.8563	31
59	0.8572	0.8581	0.8590	0.8599	0.8607	0.8616	0.8625	0.8634	0.8643	0.8652	30
60	0.8660	0.8669	0.8678	0.8686	0.8695	0.8704	0.8712	0.8721	0.8729	0.8738	29

度	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	cos
31	0.5150	0.5165	0.5180	0.5195	0.5210	0.5225	0.5240	0.5255	0.5270	0.5284	58
32	0.5299	0.5314	0.5329	0.5344	0.5358	0.5373	0.5387	0.5402	0.5417	0.5432	57
33	0.5446	0.5461	0.5476	0.5490	0.5505	0.5519	0.5534	0.5548	0.5563	0.5577	56
34	0.5592	0.5606	0.5621	0.5635	0.5650	0.5664	0.5678	0.5693	0.5707	0.5721	55
35	0.5734	0.5749	0.5764	0.5779	0.5793	0.5807	0.5821	0.5835	0.5850	0.5864	54
36	0.5878	0.5892	0.5906	0.5920	0.5934	0.5948	0.5962	0.5976	0.5990	0.6004	53
37	0.6018	0.6032	0.6046	0.6060	0.6074	0.6088	0.6101	0.6115	0.6129	0.6143	52
38	0.6157	0.6170	0.6184	0.6198	0.6211	0.6225	0.6239	0.6252	0.6266	0.6280	51
39	0.6293	0.6307	0.6320	0.6334	0.6347	0.6361	0.6374	0.6388	0.6401	0.6414	50
40	0.6428	0.6441	0.6455	0.6469	0.6481	0.6494	0.6508	0.6521	0.6534	0.6547	49
41	0.6561	0.6574	0.6587	0.6600	0.6613	0.6626	0.6639	0.6652	0.6665	0.6678	48
42	0.6691	0.6704	0.6717	0.6730	0.6743	0.6756	0.6769	0.6782	0.6794	0.6807	47
43	0.6820	0.6833	0.6845	0.6858	0.6871	0.6884	0.6896	0.6909	0.6921	0.6934	46
44	0.6947	0.6959	0.6972	0.6984	0.6997	0.7009	0.7022	0.7034	0.7046	0.7059	45
45	0.7071	0.7083	0.7096	0.7108	0.7120	0.7133	0.7145	0.7157	0.7169	0.7181	44
46	0.7193	0.7206	0.7218	0.7230	0.7242	0.7254	0.7266	0.7278	0.7290	0.7302	43
47	0.7314	0.7325	0.7337	0.7349	0.7361	0.7373	0.7385	0.7396	0.7408	0.7420	42
48	0.7431	0.7443	0.7455	0.7466	0.7478	0.7490	0.7501	0.7513	0.7524	0.7536	41
49	0.7547	0.7559	0.7570	0.7581	0.7593	0.7604	0.7615	0.7627	0.7635	0.7649	40
50	0.7660	0.7672	0.7683	0.7694	0.7705	0.7716	0.7727	0.7738	0.7749	0.7760	39
51	0.7771	0.7782	0.7793	0.7804	0.7815	0.7826	0.7837	0.7848	0.7859	0.7869	38
52	0.7880	0.7891	0.7902	0.7912	0.7923	0.7934	0.7944	0.7955	0.7965	0.7976	37
53	0.7986	0.7997	0.8007	0.8018	0.8028	0.8039	0.8049	0.8059	0.8070	0.8080	36
54	0.8090	0.8100	0.8111	0.8121	0.8131	0.8141	0.8151	0.8161	0.8171	0.8181	35
55	0.8192	0.8202	0.8211	0.8221	0.8231	0.8241	0.8251	0.8261	0.8271	0.8281	34
56	0.8290	0.8300	0.8310	0.8320	0.8329	0.8339	0.8349	0.8358	0.8368	0.8377	33
57	0.8387	0.8396	0.8406	0.8415	0.8425	0.8434	0.8443	0.8453	0.8462	0.8471	32
58	0.8480	0.8490	0.8499	0.8508	0.8517	0.8526	0.8536	0.8545	0.8554	0.8563	31
59	0.8572	0.8581	0.8590	0.8599	0.8607	0.8616	0.8625	0.8634	0.8643	0.8652	30
60	0.8660	0.8669	0.8678	0.8686	0.8695	0.8704	0.8712	0.8721	0.8729	0.8738	29

sin	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	度
61	0.8746	0.8755	0.8763	0.8771	0.8780	0.8788	0.8796	0.8805	0.8813	0.8821	28
62	0.8829	0.8838	0.8846	0.8854	0.8862	0.8870	0.8878	0.8886	0.8894	0.8902	27
63	0.8910	0.8918	0.8926	0.8934	0.8942	0.8949	0.8957	0.8965	0.8973	0.8981	26
64	0.8988	0.8996	0.9003	0.9011	0.9018	0.9026	0.9033	0.9041	0.9048	0.9056	25
65	0.9063	0.9070	0.9078	0.9085	0.9092	0.9100	0.9107	0.9114	0.9121	0.9128	24
66	0.9135	0.9143	0.9150	0.9157	0.9164	0.9171	0.9178	0.9184	0.9191	0.9198	23
67	0.9205	0.9212	0.9219	0.9225	0.9232	0.9239	0.9245	0.9252	0.9259	0.9265	22
68	0.9272	0.9278	0.9285	0.9291	0.9298	0.9304	0.9311	0.9317	0.9323	0.9330	21
69	0.9336	0.9342	0.9348	0.9354	0.9361	0.9367	0.9373	0.9379	0.9385	0.9391	20
70	0.9397	0.9403	0.9409	0.9415	0.9421	0.9426	0.9432	0.9438	0.9444	0.9449	19
71	0.9455	0.9461	0.9466	0.9472	0.9478	0.9483	0.9489	0.9494	0.9500	0.9505	18
72	0.9511	0.9516	0.9521	0.9527	0.9532	0.9537	0.9542	0.9548	0.9553	0.9558	17
73	0.9563	0.9568	0.9573	0.9578	0.9583	0.9588	0.9593	0.9598	0.9603	0.9608	16
74	0.9613	0.9617	0.9622	0.9627	0.9632	0.9636	0.9641	0.9646	0.9650	0.9655	15
75	0.9659	0.9664	0.9668	0.9673	0.9677	0.9681	0.9686	0.9690	0.9694	0.9699	14
76	0.9703	0.9707	0.9711	0.9715	0.9720	0.9724	0.9728	0.9732	0.9736	0.9740	13
77	0.9744	0.9748	0.9751	0.9755	0.9759	0.9763	0.9767	0.9770	0.9774	0.9778	12
78	0.9781	0.9785	0.9789	0.9792	0.9796	0.9799	0.9803	0.9806	0.9810	0.9813	11
79	0.9816	0.9820	0.9823	0.9826	0.9829	0.9833	0.9836	0.9839	0.9842	0.9845	10
80	0.9848	0.9851	0.9854	0.9857	0.9860	0.9863	0.9866	0.9869	0.9871	0.9874	9
81	0.9877	0.9880	0.9882	0.9885	0.9888	0.9890	0.9893	0.9895	0.9898	0.9900	8
82	0.9903	0.9905	0.9907	0.9910	0.9912	0.9914	0.9917	0.9919	0.9921	0.9923	7
83	0.9925	0.9928	0.9930	0.9932	0.9934	0.9936	0.9938	0.9940	0.9942	0.9944	6
84	0.9945	0.9947	0.9949	0.9951	0.9952	0.9954	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	5
85	0.9962	0.9963	0.9965	0.9966	0.9968	0.9969	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974	4
86	0.9976	0.9977	0.9978	0.9979	0.9980	0.9981	0.9982	0.9983	0.9984	0.9985	3
87	0.9986	0.9987	0.9988	0.9989	0.9990	0.9991	0.9992	0.9993	0.9994	0.9995	2
88	0.9996	0.9997	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	1
89	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0

cos

表 1-12 正切余切函数表

tg	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	度
0°	0.0000	0.0017	0.0035	0.0052	0.0070	0.0087	0.0105	0.0122	0.0140	0.0157	89
1	0.0175	0.0209	0.0244	0.0277	0.0311	0.0346	0.0381	0.0415	0.0450	0.0484	88
2	0.0349	0.0367	0.0384	0.0402	0.0419	0.0437	0.0454	0.0472	0.0489	0.0507	87
3	0.0524	0.0542	0.0559	0.0577	0.0594	0.0612	0.0629	0.0647	0.0664	0.0682	86
4	0.0699	0.0717	0.0734	0.0752	0.0769	0.0787	0.0805	0.0822	0.0840	0.0857	85
5	0.0875	0.0892	0.0910	0.0928	0.0945	0.0963	0.0981	0.0998	0.1016	0.1033	84
6	0.1051	0.1069	0.1086	0.1104	0.1122	0.1139	0.1157	0.1175	0.1192	0.1210	83
7	0.1228	0.1246	0.1269	0.1281	0.1299	0.1317	0.1334	0.1352	0.1370	0.1388	82
8	0.1405	0.1423	0.1441	0.1459	0.1477	0.1495	0.1512	0.1530	0.1548	0.1566	81
9	0.1584	0.1602	0.1620	0.1638	0.1655	0.1673	0.1691	0.1709	0.1727	0.1745	80
10	0.1763	0.1781	0.1799	0.1817	0.1835	0.1853	0.1871	0.1890	0.1908	0.1926	79
11	0.1944	0.1962	0.1980	0.1998	0.2016	0.2035	0.2053	0.2071	0.2089	0.2107	78
12	0.2126	0.2144	0.2162	0.2180	0.2199	0.2217	0.2235	0.2254	0.2272	0.2290	77
13	0.2309	0.2327	0.2345	0.2364	0.2382	0.2401	0.2419	0.2438	0.2456	0.2475	76
14	0.2493	0.2512	0.2530	0.2549	0.2568	0.2586	0.2605	0.2623	0.2642	0.2661	75
15	0.2679	0.2698	0.2717	0.2736	0.2754	0.2773	0.2792	0.2811	0.2830	0.2849	74
16	0.2867	0.2886	0.2905	0.2924	0.2943	0.2962	0.2981	0.3000	0.3019	0.3038	73
17	0.3057	0.3076	0.3096	0.3115	0.3134	0.3153	0.3172	0.3191	0.3211	0.3230	72
18	0.3249	0.3269	0.3288	0.3307	0.3327	0.3346	0.3365	0.3385	0.3404	0.3424	71
19	0.3443	0.3463	0.3482	0.3502	0.3522	0.3541	0.3561	0.3581	0.3600	0.3620	70
20	0.3640	0.3659	0.3679	0.3699	0.3719	0.3739	0.3759	0.3779	0.3799	0.3819	69
21	0.3839	0.3859	0.3879	0.3899	0.3919	0.3939	0.3959	0.3979	0.4000	0.4020	68
22	0.4040	0.4061	0.4081	0.4101	0.4122	0.4142	0.4163	0.4183	0.4204	0.4224	67
23	0.4245	0.4265	0.4286	0.4307	0.4327	0.4348	0.4369	0.4390	0.4411	0.4431	66
24	0.4452	0.4473	0.4494	0.4515	0.4536	0.4557	0.4578	0.4599	0.4621	0.4642	65
25	0.4663	0.4684	0.4706	0.4727	0.4748	0.4770	0.4791	0.4813	0.4834	0.4856	64
26	0.4877	0.4899	0.4921	0.4942	0.4964	0.4986	0.5008	0.5029	0.5051	0.5073	63
27	0.5095	0.5117	0.5139	0.5161	0.5184	0.5206	0.5228	0.5250	0.5272	0.5295	62
28	0.5317	0.5340	0.5362	0.5384	0.5407	0.5430	0.5452	0.5475	0.5498	0.5520	61
29	0.5543	0.5566	0.5589	0.5612	0.5635	0.5658	0.5681	0.5704	0.5727	0.5750	60
30	0.5774	0.5797	0.5820	0.5844	0.5867	0.5890	0.5914	0.5938	0.5961	0.5985	59

續表

tg	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	度
31	0.6009	0.6032	0.6056	0.6080	0.6104	0.6128	0.6152	0.6176	0.6200	0.6224	58
32	0.6249	0.6273	0.6297	0.6322	0.6346	0.6371	0.6395	0.6420	0.6445	0.6469	57
33	0.6494	0.6519	0.6544	0.6569	0.6594	0.6619	0.6644	0.6669	0.6694	0.6720	56
34	0.6745	0.6771	0.6796	0.6822	0.6847	0.6873	0.6899	0.6924	0.6950	0.6976	55
35	0.7002	0.7028	0.7054	0.7080	0.7107	0.7133	0.7159	0.7186	0.7212	0.7239	54
36	0.7265	0.7292	0.7319	0.7346	0.7373	0.7400	0.7427	0.7454	0.7481	0.7508	53
37	0.7536	0.7563	0.7590	0.7618	0.7646	0.7673	0.7701	0.7729	0.7757	0.7785	52
38	0.7813	0.7841	0.7869	0.7898	0.7926	0.7954	0.7983	0.8012	0.8040	0.8069	51
39	0.8090	0.8117	0.8159	0.8185	0.8214	0.8243	0.8273	0.8302	0.8332	0.8361	50
40	0.8391	0.8421	0.8451	0.8481	0.8511	0.8541	0.8571	0.8601	0.8632	0.8662	49
41	0.8693	0.8724	0.8754	0.8785	0.8816	0.8847	0.8878	0.8910	0.8941	0.8972	48
42	0.9004	0.9036	0.9067	0.9099	0.9131	0.9163	0.9195	0.9228	0.9260	0.9293	47
43	0.9325	0.9358	0.9391	0.9424	0.9457	0.9490	0.9523	0.9556	0.9590	0.9623	46
44	0.9657	0.9691	0.9725	0.9759	0.9793	0.9827	0.9861	0.9899	0.9930	0.9965	45
45	1.0000	1.0035	1.0070	1.0105	1.0141	1.0176	1.0212	1.0247	1.0283	1.0319	44
46	1.0355	1.0392	1.0428	1.0464	1.0501	1.0538	1.0575	1.0612	1.0649	1.0686	43
47	1.0724	1.0761	1.0799	1.0837	1.0875	1.0913	1.0951	1.0990	1.1028	1.1067	42
48	1.1106	1.1145	1.1184	1.1224	1.1263	1.1303	1.1343	1.1383	1.1423	1.1463	41
49	1.1504	1.1544	1.1585	1.1626	1.1667	1.1708	1.1750	1.1792	1.1833	1.1875	40
50	1.1918	1.1960	1.2002	1.2045	1.2088	1.2131	1.2174	1.2218	1.2261	1.2305	39
51	1.2349	1.2393	1.2437	1.2482	1.2527	1.2572	1.2617	1.2662	1.2708	1.2753	38
52	1.2799	1.2836	1.2872	1.2908	1.2945	1.2985	1.3022	1.3079	1.3127	1.3175	37
53	1.3210	1.3249	1.3287	1.3326	1.3365	1.3404	1.3443	1.3482	1.3521	1.3563	36
54	1.3604	1.3643	1.3682	1.3721	1.3760	1.3800	1.3839	1.3878	1.3917	1.3956	35
55	1.4000	1.4039	1.4078	1.4117	1.4156	1.4195	1.4234	1.4273	1.4312	1.4351	34
56	1.4396	1.4435	1.4474	1.4513	1.4552	1.4591	1.4630	1.4669	1.4708	1.4747	33
57	1.4792	1.4831	1.4870	1.4909	1.4948	1.4987	1.5026	1.5065	1.5104	1.5143	32
58	1.5187	1.5226	1.5265	1.5304	1.5343	1.5382	1.5421	1.5460	1.5499	1.5538	31
59	1.5582	1.5621	1.5660	1.5699	1.5738	1.5777	1.5816	1.5855	1.5894	1.5933	30
60	1.5977	1.6016	1.6055	1.6094	1.6133	1.6172	1.6211	1.6250	1.6289	1.6328	29

度	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0
61	1.8040	1.8115	1.8190	1.8265	1.8341	1.8418	1.8495	1.8572	1.8650	1.8728	28
62	1.8807	1.8887	1.8967	1.9047	1.9128	1.9210	1.9292	1.9375	1.9458	1.9542	27
63	1.9626	1.9711	1.9797	1.9883	1.9970	2.0057	2.0145	2.0233	2.0323	2.0413	26
64	2.0503	2.0594	2.0686	2.0778	2.0872	2.0965	2.1060	2.1155	2.1251	2.1348	25
65	2.1445	2.1543	2.1642	2.1742	2.1842	2.1943	2.2045	2.2148	2.2251	2.2355	24
66	2.2460	2.2566	2.2673	2.2781	2.2889	2.2998	2.3109	2.3220	2.3332	2.3445	23
67	2.3559	2.3673	2.3789	2.3906	2.4023	2.4142	2.4262	2.4383	2.4504	2.4627	22
68	2.4731	2.4876	2.5002	2.5129	2.5257	2.5386	2.5517	2.5649	2.5782	2.5916	21
69	2.6051	2.6187	2.6325	2.6464	2.6605	2.6746	2.6889	2.7034	2.7179	2.7326	20
70	2.7475	2.7625	2.7776	2.7929	2.8083	2.8239	2.8397	2.8556	2.8716	2.8878	19
71	2.9042	2.9208	2.9375	2.9544	2.9714	2.9887	3.0061	3.0237	3.0415	3.0595	18
72	3.0777	3.0961	3.1146	3.1334	3.1524	3.1716	3.1910	3.2106	3.2305	3.2506	17
73	3.2709	3.2914	3.3122	3.3332	3.3544	3.3759	3.3977	3.4197	3.4420	3.4646	16
74	3.4874	3.5105	3.5339	3.5576	3.5816	3.6059	3.6305	3.6554	3.6806	3.7062	15
75	3.7321	3.7583	3.7848	3.8118	3.8391	3.8667	3.8947	3.9232	3.9520	3.9812	14
76	4.0108	4.0408	4.0713	4.1022	4.1335	4.1653	4.1976	4.2303	4.2635	4.2972	13
77	4.3315	4.3662	4.4015	4.4374	4.4737	4.5107	4.5483	4.5864	4.6252	4.6646	12
78	4.7046	4.7437	4.7833	4.8238	4.8716	4.9152	4.9594	5.0045	5.0504	5.0970	11
79	5.1446	5.1929	5.2422	5.2924	5.3435	5.3955	5.4486	5.5026	5.5578	5.6140	10
80	5.6713	5.7297	5.7894	5.8502	5.9124	5.9758	6.0405	6.1066	6.1742	6.2432	9
81	6.3138	6.3859	6.4596	6.5350	6.6122	6.6912	6.7720	6.8548	6.9395	7.0264	8
82	7.1154	7.2066	7.3002	7.3962	7.4947	7.5958	7.6996	7.8062	7.9158	8.0285	7
83	8.1443	8.2636	8.3863	8.5126	8.6427	8.7769	8.9152	9.0579	9.2052	9.3572	6
84	9.5144	9.677	9.845	10.02	10.20	10.39	10.58	10.78	10.99	11.20	5
85	11.43	11.66	11.91	12.16	12.43	12.71	13.00	13.30	13.62	13.95	4
86	14.30	14.67	15.06	15.46	15.89	16.35	16.83	17.34	17.89	18.46	3
87	19.08	19.74	20.45	21.20	22.02	22.90	23.86	24.90	26.03	27.27	2
88	28.64	30.14	31.82	33.69	35.80	38.19	40.92	44.07	47.74	52.08	1
89	57.29	63.66	71.62	81.85	95.49	114.6	143.2	191.0	286.5	573.0	0

1-2 电工学基本定律及计算公式

1. 电路中的元件

电路中的元件共有三种:

(1) 电阻 r (图1-1)

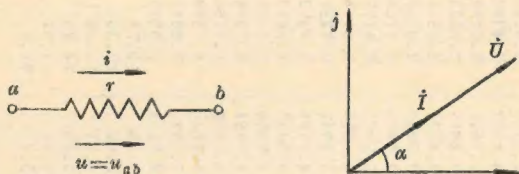


图1-1

如果 $i = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \alpha)$,

则 $u = \sqrt{2} I r \sin(\omega t + \alpha)$.

用复数表示时, $\dot{U} = r \dot{I}$.

(1-1)

电阻的倒数称为电导, $g = \frac{1}{r}$,

故 $\dot{I} = g \dot{U}$.

(2) 电感 L (图1-2)

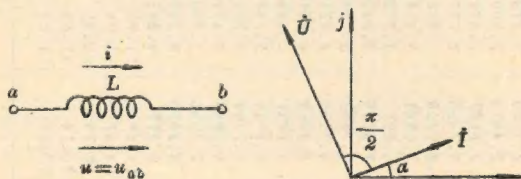


图1-2

如果 $i = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \alpha)$,

则 $u = \sqrt{2} \omega L I \sin\left(\omega t + \alpha + \frac{\pi}{2}\right)$

$$= \sqrt{2} X_L I \sin\left(\omega t + \alpha + \frac{\pi}{2}\right),$$

式中 $X_L = \omega L$ 称为感抗。

用复数表示时, $\dot{U} = j X_L \dot{I}$.

(1-2)

感抗的倒数称为感纳, $b_L = \frac{1}{X_L}$,

故 $\dot{I} = -j b_L \dot{U}$.

(3) 电容 C (图1-3)

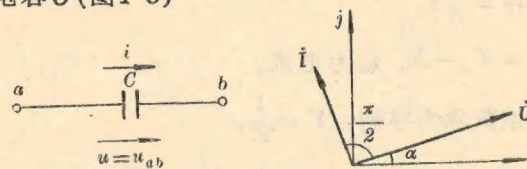


图1-3

如果 $u = \sqrt{2} U \sin(\omega t + \alpha)$,

则 $i = \sqrt{2} \omega C U \sin\left(\omega t + \alpha + \frac{\pi}{2}\right)$

$$= \sqrt{2} \frac{U}{X_C} \sin\left(\omega t + \alpha + \frac{\pi}{2}\right),$$

式中 $X_C = \frac{1}{\omega C}$ 称为容抗。

用复数表示时, $\dot{I} = j \frac{U}{X_C}$.

(1-3)

容抗的倒数称为容纳, $b_C = \frac{1}{X_C}$,

故 $\dot{I} = j b_C \dot{U}$.

(4) 电阻、电感和电容串联时 (图1-4)

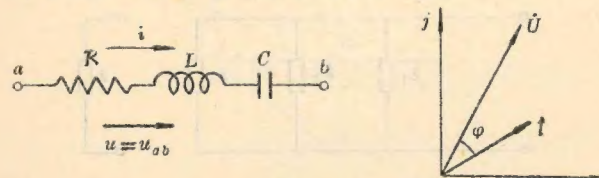


图1-4

用复数表示时, $\dot{U} = \dot{Z}\dot{I}$,

(1-4)

式中 $\dot{Z} = R + jX_L - jX_C = R + j(X_L - X_C) = R + jX$
 $= Z(\cos\varphi - j\sin\varphi)$.

其中 $Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$ 称为全阻抗(简称阻抗);

$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$ 称为功率因数;

$\sin\varphi = \frac{x}{Z}$;

$X = X_L - X_C$ 称为电抗。

阻抗的倒数称为导纳 $Y = \frac{1}{Z}$,

电抗的倒数称为电纳 $b = \frac{1}{X}$.

(5) 阻抗的化简和变换

1) 串联(图1-5)总阻抗 $\dot{Z} = \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_3$.

(1-5)

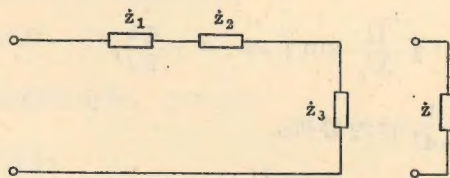


图 1-5 串联电路

2) 并联(图1-6)总阻抗 $\dot{Z} = \frac{1}{\frac{1}{\dot{Z}_1} + \frac{1}{\dot{Z}_2} + \frac{1}{\dot{Z}_3}}$.

(1-6)

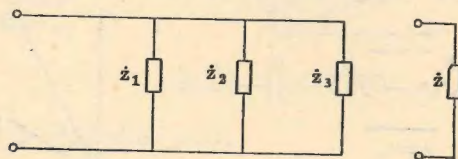


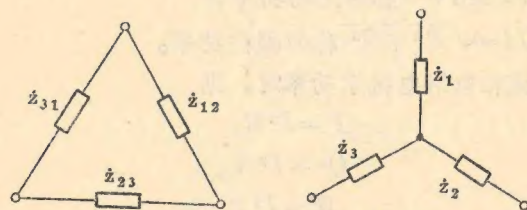
图 1-6 并联电路

3) 三角形变为星形(图1-7)

$$\dot{Z}_1 = \frac{\dot{Z}_{12}\dot{Z}_{31}}{\dot{Z}_{12} + \dot{Z}_{23} + \dot{Z}_{31}}; \quad (1-7)$$

$$\dot{Z}_2 = \frac{\dot{Z}_{23}\dot{Z}_{12}}{\dot{Z}_{12} + \dot{Z}_{23} + \dot{Z}_{31}}; \quad (1-8)$$

$$\dot{Z}_3 = \frac{\dot{Z}_{31}\dot{Z}_{23}}{\dot{Z}_{12} + \dot{Z}_{23} + \dot{Z}_{31}}. \quad (1-9)$$

图 1-7 Δ -Y 接线图

4) 星形变为三角形(图1-7)

$$\dot{Z}_{12} = \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \frac{\dot{Z}_1\dot{Z}_2}{\dot{Z}_3}; \quad (1-10)$$

$$\dot{Z}_{23} = \dot{Z}_2 + \dot{Z}_3 + \frac{\dot{Z}_2\dot{Z}_3}{\dot{Z}_1}; \quad (1-11)$$

$$\dot{Z}_{31} = \dot{Z}_3 + \dot{Z}_1 + \frac{\dot{Z}_3\dot{Z}_1}{\dot{Z}_2}. \quad (1-12)$$

2. 功率计算

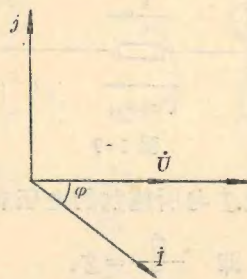


图 1-8

$$W = \hat{U} \hat{I}, \hat{U} \text{ 为 } \hat{U} \text{ 的共轭复数。} \quad (1-13)$$

如 $\hat{U} = U$, 即 \hat{U} 的初相角 α 等于零。

$$\hat{I} = I(\cos \varphi - j \sin \varphi),$$

$$\begin{aligned} \text{则 } W &= UI(\cos \varphi - j \sin \varphi) = UI \cos \varphi - jUI \sin \varphi \\ &= P - jQ; \end{aligned}$$

式中 $P = UI \cos \varphi$ 称为有功功率;

$Q = UI \sin \varphi$ 称为无功功率;

$$W = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ 称为视在功率。}$$

如用电流和电阻电抗求功率时, 则

$$P = I^2 R; \quad (1-14)$$

$$Q = I^2 X; \quad (1-15)$$

$$W = I^2 Z. \quad (1-16)$$

上述公式对于单相而言, 如果在对称的三相系统中求三相功率, 其公式如下:

$$P = \sqrt{3} UI \cos \varphi \quad \text{或} \quad P = 3 I^2 R; \quad (1-17)$$

$$Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi \quad \text{或} \quad Q = 3 I^2 X; \quad (1-18)$$

$$W = \sqrt{3} UI \quad \text{或} \quad W = 3 I^2 Z. \quad (1-19)$$

此时, U 指线电压, 而不是相电压。

3. 三个基本定律

(1) 欧姆定律

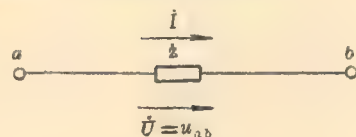


图 1-9

电路中通过的电流 I 与所施加的电压成正比。

$$\text{用复数公式表示, 即 } \frac{\hat{U}}{\hat{I}} = \hat{Z}. \quad (1-20)$$

比例常数 \hat{Z} 即为阻抗。

(2) 对任意一个结点而言, 流入或流出此结点的电流的代数和恒等于零。

$$\text{即 } \Sigma \hat{I} = 0.$$

此时若以流入结点的电流为正(如 \hat{I}_1, \hat{I}_2), 则从结点流出的电流为负(如 \hat{I}_3, \hat{I}_4)。在图1-10的情况下,

$$\hat{I}_1 + \hat{I}_2 - \hat{I}_3 - \hat{I}_4 = 0. \quad (1-21)$$

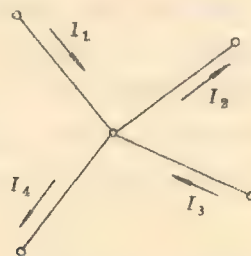


图 1-10

(3) 回路中电势的代数和等于电压降的代数和。

$$\text{即 } \Sigma \hat{E} = \Sigma \hat{U}.$$

此时电势与电压的方向与某一指定方向相同时算作正, 与指定方向相反时算作负。在图1-11的情况下,

$$\hat{E}_1 - \hat{E}_2 = \hat{U}_1 + \hat{U}_2 - \hat{U}_3 - \hat{U}_4. \quad (1-22)$$

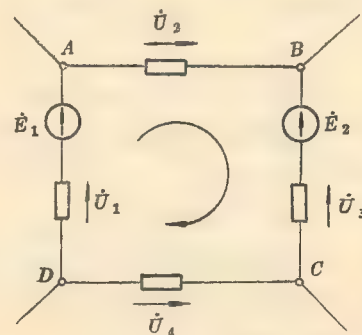


图 1-11

1-3 农村供电规划常用术语解释

1. 电力系统 由发电厂电气设备、变电所、电力线路以及用户用电设备按一定规则连接起来的整体,称为电力系统。

主要供农村用电的电力系统,称为农村电力系统。

2. 电力网 电力系统的一部分,即由变电所、电力线路以及用户用电设备组成的整体,称为电力网。

主要供农村用电的电力网,称为农村电力网。

3. 负载率 用电设备的实际出力与该设备容量的比值。

4. 需用率 一个排灌站或用电企业的最大负荷与设备容量总和的比值。

5. 同时率 一个地区的实际最大负荷与该地区内各用户(或变电站)本身最大负荷之和的比值,称为这些用户(或变电站)之间的同时率(分子分母都必须都包括网损率或都不包括网损率)。

6. 网损率 在电力网最大负荷时,线路和变压器损失的电力与该最大负荷减去损失后所得数值的比值。

7. 厂用电率 发电厂自用电力与发电厂供给电力网电力的比值。

8. 煤耗率 每生产一度电所消耗的煤炭量。如果煤耗量折算成 7000 大卡/公斤的标准煤,称为标准煤耗率。通常把标准煤耗率简称煤耗率。

9. 设备容量 设备的铭牌上所注明的容量。

10. 额定容量 设备在规定的条件下运行时的出力,在一般情况下,额定容量等于设备容量。

11. 工作出力 发电厂能够担任负载(或负荷)的能力。

12. 保证出力 指水电站在设计枯水年的枯水期月平均出力。

13. 受阻容量 发电设备因某些原因而减小的部分出力,即设备容量与实际可能工作出力的差值。

14. 备用容量 为了保证电力系统正常和安全运行,满足负

荷波动以及设备在事故和检修时的供电需要而设置的容量。

15. 备用率 备用容量与最大发电负荷的比值,以百分数表示。

16. 负荷密度 单位面积(如公里²)内的电力负荷称为负荷密度。

17. 最大负荷利用小时 年用电量与最大负荷的比值。

18. 发电设备利用小时 发电厂年发电量与发电设备容量的比值。

19. 供电最大负荷 又叫供电负荷,包括网损在内的电力网的最大负荷。

20. 发电最大负荷 也叫发电负荷,包括厂用电在内的发电厂的实际最大负荷。

1-4 农村供电规划常用图例及符号

表 1-13 供电规划地理接线图常用图例

名 称	图 例	名 称	图 例
水力发电厂		电缆线	
火力发电厂		铁路	
110千伏变电所		公路	
35~60千伏变电所		河流	
6~10千伏变电所		大城市	
110千伏电力线		小城镇	
35千伏电力线		人民公社	
6~10千伏电力线			

表1-14 供电规划单线结线图及阻抗图等常用符号

名 称	符 号	名 称	符 号
交流发电机		油开关	
直流发电机		隔离开关(刀闸)	
同期调相机		负荷开关	
电动机		熔断器	
双绕组变压器		电流互感器	
三绕组变压器		电压互感器	
带负荷调压变压器		蓄电池	
自耦变压器		整流器	
限流电抗器		电容	
消弧线圈		电阻	
接地		电抗	
阀型避雷器		阻抗	

表 1-15 基本电气量代表符号

名 称	符 号	名 称	符 号
电流	I, i	导纳	Y, y
电压	U, u	电阻	R, r
电势	E, e	电抗	X, x
有功功率	P	阻抗	Z, z
无功功率	Q	电阻系数	ρ
视在功率	W	电感, 自感系数	L
功率因数	$\cos \varphi$	电容	C
电导	G, g	频率	f
电纳	B, b	角速度	ω

表 1-16 常用单位符号

单 位 名 称	符 号	单 位 名 称	符 号
公里	km	安培	A
米	m	伏特	V
厘米	cm	千伏	KV
毫米	mm	瓦	W
吨	T	瓩	KW
公斤	kg	兆瓦	MW
克	g	伏安	VA
小时	h, H	千伏安	KVA
秒	sec	兆伏安	MVA
米 ²	m ²	千乏	KVAR
厘米 ²	cm ²	马力	HP
毫米 ²	mm ²	欧姆	Ω
米 ³ , 公方	m ³	兆欧	M Ω
厘米 ³	cm ³	电度(瓩小时)	KWH
公方/秒	m ³ /sec		

第二章 农村供电方案的技术经济比較 方法及发送变电工程综合经济指标

2-1 概 述

农村供电规划的任务,是根据国家计划和人民公社集体经济的要求,根据国家既定的方针政策,因时因地制宜地提出规划地区内实现农村电气化的方案,这些方案在技术经济上要合理,运行管理上要简便,并且适应我国农村当前的具体情况。

在规划地区内农业负荷及其他用户所需电力的数值确定以后(负荷一般预计期限在5年左右),就可以根据地区动力资源、负荷特性以及地区情况,拟制几种看来大致合理的供电方案。一般说来,农村供电规划中遇到的方案比较,有下面两个方面:

(1)提出取得电源的方式 即解决规划地区的用电是用架设高压电力线路,从已有的区域电力系统取得电源,还是在本地区建立中小型的水电厂或火电厂。如果是火电厂,还需提出火电厂燃料的来源和运输燃料的方法。

(2)供电地区电力网的结构 包括电力网采用的各级电压、线路连接方式、变电所的分布和容量以及选择各种电气设备等。

在具体做供电规划时,应把遇到的问题(可能不是上述内容的全部,而只是其中一部分,如供电电源的选择或电力网中的某个技术问题),列出几个方案进行技术经济比较,选择其中最佳的方案。

2-2 供电方案的技术经济比較方法

1. 技术经济比較的前提

参加比较的供电方案,都应满足农业供电的技术要求,这些

要求主要是:

- (1)满足用户对供电的安全和可靠性的要求;
- (2)电能质量应符合要求,特别是电压要符合规定;
- (3)运行管理便利,操作检修方便。

2. 经济计算方法

农村供电方案,在满足以上供电技术要求的前提下,方可进行各种供电方案的经济比较,比较的项目应该包括:

- (1)方案的总投资;
- (2)方案的年运行费用;
- (3)根据需要情况,还应作出各种方案的原材料消耗,主要是铜、铝、钢材和木材的消耗。

方案的总投资和年运行费用,是衡量方案优劣的两个主要项目;当然,投资及年运行费用最小的方案是最经济的方案。

在方案比较中,有时要受到国家(或地区)对某些原材料生产和供应的限制,例如对铜、铝、钢材、木材及煤炭等物资生产和供应的限制;这样,在选择方案时就应考虑这些因素,有时甚至成为决定方案的因素。

需要特别注意:在方案比较时不能单凭总投资最小来评定方案的优劣;同样,也不能只凭着年运行费用最小来权衡方案的优劣。

如果仅以方案的总投资最小作为选取方案的唯一指标,这种方法虽然使得国家的基本建设投资,在一定的意义上得到了节省,但是有时投资指标的节约,是由于降低了方案的技术装备水平、降低劳动生产率而得到的。这样就会造成增加电能成本、降低电能质量的不良后果。当然也有投资最省即是最优方案的可能,但一般说来,仅用投资最小的计算方法来作为经济比较的判据是不全面的。

如果仅以年运行费用作为选取方案的唯一指标,这种方法在大多数情况下,是由于初投资较大而提高了方案的技术装备水平

和劳动生产率,使得生产电能的总成本有所降低。但是国家分配资金是有限额的,如在某一方案中投入大量资金,即使每年的生产成本很低,但就会由此而使得其他经济部门减少了相应的投资,这样就有可能影响国民经济发展的合理比例和国民经济发展的速度。因此仅用年运行费用最小的计算方法来做为经济比较的判据也是不全面的。

因此,方案的经济比较应该用方案的总投资和年运行费全面地来衡量。即前面所说的以投资及年运行费用均最小的方案才是经济上最好的方案。但是往往在方案的经济计算中出现有一个方案的投資大、年运行费小,而另一个方案的投資小、年运行费大,在这样的情况下,究竟如何考虑投资和年运行费的综合效果呢?也就是说,对方案投资的差额与年运行费的差额如何相互衡量呢?这是一个十分重要的课题。

目前一般采用的是“抵偿年限”的方法:即当方案1的投资 Z_1 大于方案2的投资 Z_2 ,而方案1的年运行费 F_1 却小于方案2的年运行费 F_2 时,即用计算投资抵偿年限 N 来确定。

$$N = \frac{Z_1 - Z_2}{F_2 - F_1} \quad (2-1)$$

抵偿年限的标准值在农村供电规划中一般可取为5年。

当抵偿年限小于抵偿年限标准值时,应认为投资较高的方案在经济上是有利的;反之,抵偿年限大于抵偿年限标准值时,则认为投资较低的方案在经济上是有利的。

对于多个方案进行比较时,为了简化计算,可以把抵偿年限的计算公式变换一下(纯数学上的变换),称之为计算费用 $F_{j.s}$ 最小的方法,即比较诸方案的计算费用,如下式:

$$\begin{aligned} F_{j.s.1} &= \frac{Z_1}{N_{b.sh}} + F_1, \\ F_{j.s.2} &= \frac{Z_2}{N_{b.sh}} + F_2, \\ &\dots\dots\dots \end{aligned} \quad (2-2)$$

式中 $N_{b.sh}$ ——抵偿年限标准值。

当某一方案的计算费用最小时,即认为该方案在经济上是最有利的。

当各方案的投资和年运行费(或计算费用)相差不大时,应该优先采用具有下列情况的方案。

(1)具有分期投资的可能性,尽量使得国家的资金能得到充分合理的使用;

(2)能大量节约钢、铜、铝和木材等原材料;

(3)技术条件比较优越,运行管理比较方便;

(4)建设时间显著缩短;

(5)能适应远景发展的需要和便于方案的过渡。

此外还应注意设备供应的可能性和农村交通运输的条件等。

3. 方案比较的经济计算范围

(1)方案投资的计算范围 在进行一个农村动力系统的供电规划方案计算时,为了简化计算,一般可以只比较诸方案的不同部分,而不计算各方案相同部分的投资。

计算中对于新建的农村动力系统方案,应计算发、送、变、配电设备的全部投资;对于扩建的系统方案,应计算系统中有关发、送、变、配电设备的新扩建部分的投资(包括无功补偿装置、调压设备等)。

在计算中,还应包括某些方案由于相对地增大电力损失,从而增加了系统装机容量补充的投资。

如果在经济比较中,涉及到需要其它国民经济部门增加投资,则在方案比较中必须分别情况计算这一部分的投资;例如,在水火电站比较中,火电站的总投资中应该包括煤矿的投资。

由区域电力系统向农村供电时,电源部分的投资,可以按该电力系统内可能装设的大型机组的投资,用分摊方法而得到。比如在大电力系统内建设一台12000瓩的机组需900万元,如果系统向农村供电6000瓩,则农村电源按比例分摊的投资即为450万元。

(2)方案的年运行费用的计算范围 农村供电方案年运行费

用計算，應該包括以下各項：

- 1) 各種設備（包括發電廠、變電所、電力線路以及系統中的無功功率補償設備、調壓設備等）的年折舊費；
- 2) 各種設備的年維護費用和修理費用；
- 3) 廠用電、線路及變壓器年能量損失費用；
- 4) 工作人員工資；
- 5) 電廠的年運行費用中的燃料消耗費用。

2-3 發送變電工程綜合經濟指標

1. 概 述

為合理地編制農村供電規劃和設計，需要有進行方案比較使用的技術經濟指標。由於我國地區遼闊，地形複雜，氣候變化很大，各地的情況又都有比較大的差別，因此很難編出一套適合全國各地區使用的技術經濟指標。這裡僅介紹一下一般平原地區和寒溫帶氣候區域適用的指標（在其他地區和氣象條件下，可用表2-39的修正係數），這些指標僅作為規劃工作的參考。各地區在作規劃時需根據本地區的具體條件進行修正或重新編制。

2. 綜合經濟指標

(1) 小型火力發電廠綜合經濟指標

表2-1 新建小型火力發電廠投資

電廠容量 (瓩)	機組型式	鍋爐蒸發量 (噸/時)	總造價 (萬元)	單位耗投資 (元/瓩)
1500	2×TK-0.75	2×6.5	150	1000
			177	1180
3000	2×TK-1.5	2×10	270	900
			300	1000
6000	2×AK-3	2×20	504	840
			541	900
12000	2×AK-6	2×35	876	730
			960	800

注：各投資指標中列入兩個數據，上面一個是推薦的一般標準，下面的數據為上限值。

(2) 電力線路綜合經濟指標

表2-2 0.38~10千伏配電線路綜合投資

導線 種類	導線牌號	木杆線路綜合投資 (萬元/公里)			水泥杆線路綜合投資 (萬元/公里)		
		0.38千伏	6千伏	10千伏	0.38千伏	6千伏	10千伏
鋼 (鉄) 絞 線	G-25	0.140	0.247	0.261	0.233	0.309	0.322
	G-35	0.205	0.290	0.300	0.284	0.348	0.362
	G-50	0.261	0.350	0.362	0.335	0.410	0.423
	G-70	0.362	0.450	0.460	0.429	0.500	0.512
	G-95	0.400	0.490	0.500	0.489	0.541	0.552
單 股 鋼 (鉄) 絞 線	G-φ35	0.134	0.251	0.273	0.247	0.347	0.369
	G-φ4	0.140	0.255	0.277	0.252	0.350	0.372
	G-φ5	0.152	0.268	0.290	0.266	0.364	0.385
	G-φ6	0.160	0.275	0.297	0.286	0.370	0.392
鋁 絞 線	L-16	0.222	0.361	0.386	0.356	0.473	0.498
	L-25	0.255	0.390	0.407	0.387	0.493	0.518
	L-35	0.294	0.416	0.438	0.408	0.511	0.533
	L-50	0.344	0.450	0.467	0.438	0.528	0.545
	L-70	0.446	0.556	0.573	0.541	0.634	0.651
	L-95	0.563	0.678	0.695	0.656	0.756	0.774
	L-120	—	0.825	0.842	—	0.903	0.920
	L-150	—	0.984	1.001	—	1.062	1.079
銅 絞 線	T-16	0.476	—	—	0.590	—	—
	T-25	0.662	—	—	0.776	—	—
	T-35	0.869	—	—	0.984	—	—
	T-50	1.148	—	—	1.242	—	—
	T-70	1.617	—	—	1.704	—	—
	T-95	2.134	—	—	2.220	—	—

表 2-3 380/220伏电力线路综合投资

导线种类	导线牌号	木杆线路综合投资 (万元/公里)	水泥杆线路综合投资 (万元/公里)
铝 绞 线	L-(3×16+1×16)	0.251	0.385
	L-(3×25+1×16)	0.284	0.415
	L-(3×35+1×16)	0.323	0.436
	L-(3×50+1×25)	0.420	0.514
	L-(3×70+1×35)	0.506	0.60
	L-(3×95+1×50)	0.644	0.738
铜 绞 线	T-(3×16+1×10)	0.545	0.659
	T-(3×25+1×16)	0.784	0.897
	T-(3×35+1×16)	0.989	1.103
	T-(3×50+1×25)	1.329	1.422
	T-(3×70+1×35)	1.869	1.923
	T-(3×95+1×50)	2.481	2.568

表 2-4 35~110千伏电力线路综合投资

导线种类	导线牌号	木杆线路综合投资 (万元/公里)	水泥杆线路综合投资(万元/公里)		
		35千伏	35千伏	60千伏	110千伏
钢(铁) 绞 线	G-25	0.559	0.654	—	—
	G-35	0.601	0.707	—	—
	G-50	0.668	0.782	—	—
	G-70	0.782	0.905	—	—
	G-95	0.855	0.973	—	—
钢 芯 铝 线	LG-35	0.674	0.780	—	—
	LG-50	0.789	0.904	1.044	—
	LG-70	0.812	1.033	1.165	1.267
	LG-95	1.138	1.260	1.385	1.500
	LG-120	1.283	1.403	1.566	1.636
	LG-150	1.486	1.631	1.791	1.854
	LG-185	1.715	1.864	2.066	2.114

注：综合投资指标系指单基杆线路的。双基杆线路的投资须增加表 2-40 中的修正值。

表 2-5 0.38~10千伏电力线路(铝导线)主要材料消耗

(单位：钢材、水泥，吨/公里；木材，米³/公里)

导线截面 (毫米 ²)	每公里铝导线重量 (吨/公里)	木杆材料消耗				水泥杆材料消耗			
		0.38千伏		6~10千伏		0.38千伏		6~10千伏	
		三 相 三 线 制	四 相 四 线 制	钢材	木材	钢材	木材	钢材	水泥
16	0.129	0.172	0.30	4.4	0.32	8.3	2.0	5.3	2.4
25	0.198	0.241	0.29	4.2	0.31	7.8	1.9	5.0	2.3
35	0.282	0.325	0.26	3.8	0.28	7.0	1.7	4.6	2.25
50	0.405	0.471	0.21	3.1	0.77	5.8	1.4	3.9	1.7
70	0.564	0.658	0.21	3.1	0.77	5.8	1.4	3.9	1.7
95	0.768	0.903	0.21	3.1	0.77	5.8	1.4	3.9	1.7
120	0.969				0.77	5.8	1.4		1.7
150	1.230				0.77	5.8	1.4		1.7
185	1.488				0.77	5.8	1.4		1.7

注：1. 导线重量未计及损耗。

2. 主要材料系参照有关资料估算的。

表 2-6 35~110千伏电力线路(钢芯铝线)主要材料消耗

(单位：钢材、水泥，吨/公里；木材，米³/公里)

导线 截面 (毫米 ²)	每公里钢芯铝线重量 (吨/公里)	木杆材料消耗		水泥杆材料消耗					
		35千伏		35千伏		60千伏		110千伏	
		导线总重	其中铝重	其中钢重	钢材	木材	钢材	水泥	钢材
35	0.389	0.297	0.092	0.292	14.5	2.8	2.25		
50	0.587	0.432	0.155	0.485	15.1	3.06	2.25	3.31	2.74
70	0.817	0.601	0.216	0.556	15.6	3.32	2.26	3.57	2.96
95	1.31	0.832	0.478	0.858	17.2	3.65	2.26	3.96	3.08
120	1.532	1.014	0.518	0.908	19.2	3.74	2.27	4.33	3.18
150	1.892	1.263	0.630	1.03	21.4	3.98	2.28	4.76	3.19
185	2.373	1.565	0.808	1.228	21.6	4.24	2.28	5.11	3.38

注：此表系根据有关资料估算的。

(3) 变电所綜合經濟指标

表 2-7 35/6~10 千伏主变压器綜合經濟指标

指标	本体价格 (万元/台)	綜合投資 (万元/台)	主要材料消耗(木材: 米 ³ /台, 其它: 吨/台)					
			鋼 材	硅鋼片	銅	鋁	水泥	木材
型式	(万元/台)	(万元/台)						
SJ-320	0.876	1.74						
SJ-560	1.168	2.30						
SJ-750	1.440	2.60						
SJ-1000	1.776	3.00						
SJ-1800	2.696	4.14	2.95	2.51	0.66	0.04	2.12	0.35
SJ-3200	3.820	5.31	5.27	3.67	0.94	0.09	2.29	0.38
SJ-5600	5.160	6.83	9.20	5.46	1.00	0.17	2.29	0.38
SJ-7500	6.952	8.81	9.73	6.53	1.63	0.18	2.49	0.40

表 2-8 60/6~10 千伏主变压器綜合經濟指标

指标	本体价格 (万元/台)	綜合投資 (万元/台)	主要材料消耗(木材: 米 ³ /台, 其它: 吨/台)					
			鋼 材	硅鋼片	銅	鋁	水泥	木材
型式	(万元/台)	(万元/台)						
SJ-1000	2.480	4.00						
SJ-1800	3.548	5.30	5.83	3.26	0.68	0.04	4.20	0.91
SJ-3200	5.060	7.10						
SJ-5600	6.340	8.64						
SJ-7500	8.360	10.90						
SJ-10000	10.560	13.26						

表 2-9 110/6~10 千伏主变压器綜合經濟指标

指标	本体价格 (万元/台)	綜合投資 (万元/台)	主要材料消耗(木材: 米 ³ /台, 其它: 吨/台)					
			鋼 材	硅鋼片	銅	鋁	水泥	木材
型式	(万元/台)	(万元/台)						
SFL-5600	8.772	11.38						
SFL-7500	11.440	14.24						
SFL-10000	13.640	16.70	15.57	10.53	2.30	0.16	5.91	1.03
SFL-15000	16.632	19.86	18.56	13.87	2.78	0.16	6.37	1.07
SFL-20000	17.864	21.33	21.48	18.06	3.57	0.31	6.37	1.07

表 2-10 110/35/6~10 千伏主变压器綜合經濟指标

指标	本体价格 (万元/台)	綜合投資 (万元/台)	主要材料消耗(木材: 米 ³ /台, 其它: 吨/台)					
			鋼 材	硅鋼片	銅	鋁	水泥	木材
型式	(万元/台)	(万元/台)						
SFSL-5600	11.364	15.21						
SFSL-7500	14.960	18.92	18.75	12.00	2.94	0.27	9.91	1.89
SFSL-10000	17.776	22.03	18.29	12.80	4.00	0.26	9.91	1.89
SFSL-15000	21.824	26.50	23.59	21.31	4.15	0.46	10.19	1.98
SFSL-20000	23.408	28.45	32.27	23.00	7.18	0.64	10.19	1.98

表 2-11 6~10 千伏柱上变压器綜合投資

变压器型号	变压器本体价格 (元/台)		綜 合 投 資 (元/台)	
	6 千伏	10 千伏	屋外配电站	柱上变压器
SJ-5/6-10	840	882		0.13
SJ-10/6-10	1040	1092		0.16
SJ-15		1260		0.18
SJ-20/6-10	1200	1260		0.18
SJ-25/6-10		1470		0.22
SJ-30/6-10	1560	1638		0.24
SJ-40/6-10		1858		0.27
SJ-50/6-10	1920	2016	0.25	0.29
SJ-75/6-10	2520	2650	0.33	0.37
SJ-100/6-10	2800	2940	0.41	0.40
SJ-150/6-10		3767	0.51	0.51
SJ-180/6-10	4000	4200	0.57	0.57
SJ-200/6-10		4419	0.60	0.59
SJ-240/6-10	4865	5150	0.71	0.68
SJ-300/6-10		5596	0.76	0.73
SJ-320/6-10	5840	6132	0.81	0.80
SJ-560/6-10	9000	9000	1.24	
SJ-750/6-10		11560	1.50	
SJ-1000/6-10		14800	1.88	

注: 1. 由于变压器本体价格(6 千伏与10 千伏)相差甚小, 因此綜合投資中不計其差別。

2. 上述指标中包括了变压器設備、杆塔、瓷瓶鉄件、跌落式保險、防雷保护間隙以及安裝材料、运输等費用。

表 2-12 35~110千伏屋外配电装置間隔綜合經濟指标

电压 (千伏)	遮断器或隔离开关 型式	遮断器 遮断容量 (兆伏安)	遮断器 本体价格 (万元/台)	单 母 綫				双 母 綫							
				綜合投資 (万元/ 間隔)	主 要 材 料 消 耗 (木材: 米 ³ /間隔) (其它: 吨/間隔)			綜合投資 (万元/ 間隔)	主 要 材 料 消 耗 (木材: 米 ³ /間隔) (其它: 吨/間隔)						
					鋼材	銅	鋁		水泥	木材	鋼	銅	鋁	水泥	木材
35	GW2-35D(隔离开关)		—	0.27											
	RWA(高压熔断器)			0.60											
	SW1-35/600A	400	0.85	1.96	1.93	1.85	0.05	1.85	0.98	2.15	3.23	0.2	0.13	3.01	1.31
	DW1-35/600A	400	0.53	1.50						1.63					
	DW1-35D/600A	400	0.562	1.54						1.70					
	DW2-35/600	750	0.908	2.19	3.57	0.35	0.04	1.85	0.98	2.39	4.90	0.36	0.12	3.01	1.31
60	DW2-35/1000	1000	0.958	2.27						2.50					
	DW1-60/600	500	2.61	4.67						5.05					
110	DW1-60G/1200	1000	2.96	5.10	8.70	0.50	0.15	4.85	1.67	5.55	9.90	0.48	0.14	7.7	2.43
	SW1-110/600	2500	3.20	6.80	8.15	0.45	0.05	10.5	1.58	7.31					
	DW2-110/600	2500	4.40	8.95						9.70					
	DW2-110/1000	2500	5.00	9.45						10.50					
	DW3-110/600	2500	4.35	8.35	16.40	0.74	0.12	10.0	1.50	9.10	17.60	0.75	0.26	13.26	2.22
	DW3-110G/600	3500	4.76	8.75						9.55					

注: 此表所示指标系按各种結綫型式間隔取其平均值表示。遮断器本体价格不包括油費用。

表 2-13 6~35千伏屋內配电装置間隔綜合投資

遮断器或 隔离开关 型式	遮断容量 (兆伏安)	遮断器 本体价格 (万元/台)	綜合投資 (万元/間隔)					
			6~10 (千伏)			35(千伏)		
			单层单列 单母綫	单层单列 双母綫	三层双列 双母綫	双层单列 单母綫	双层单列 双母綫	
GN2-10 (隔离开关)	—	—	0.16	—	—	—	—	—
FN2-10 (負荷开关)	—	—	0.23	—	—	—	—	—
HK-10 (熔断器)	—	—	0.17	—	—	—	—	—
FN2-10(負荷 开关及熔断器)	—	—	0.24	—	—	—	—	—
SN1-10/600	200	0.107	0.47	0.54	1.66	—	—	—
SN2-10/600	350	0.113	0.48	0.55	1.69	—	—	—
SN2-10/1000	350	0.135	0.54	0.62	3.13	—	—	—
SN3-10/2000	500	0.417	0.97	1.05	5.73	—	—	—
SN3-10/3000	500	0.437	—	—	6.35	—	—	—
SN4-10/4000	1500	1.258	—	—	8.58	—	—	—
SW1-35/600	400	0.85	—	—	—	1.92	2.45	—
DW1-35/600	400	0.53	—	—	—	1.53	2.00	—
DW1-35D/600	400	0.562	—	—	—	1.57	2.00	—
DW2-35/600	750	0.908	—	—	—	2.02	2.53	—
DW2-35/1000	1000	0.958	—	—	—	2.32	2.87	—

注: 此表所示指标系按各种結綫型式間隔取其平均值表示, 三层双列 双母綫系包括帶饋电綫电抗器的費用。

表 2-14 6~10千伏屋内配电装置间隔主要材料消耗

断路器型式	遮断容量 (兆伏安)	主要材料消耗 (木材: 米 ³ /间隔, 其它: 吨/间隔)											
		单层单列单母线				单层单列双母线				三层双列双母线			
		钢材	铜	铝	水泥	木材	钢材	铜	铝	水泥	木材	钢材	铜
SN1-10/600	200	0.46	0.03	0.05	0.89	0.08	0.51	0.08	0.08	1.05	0.11	1.18	0.08
SN2-10/600	350	0.46	0.03	0.05	0.89	0.08	0.51	0.08	0.08	1.05	0.11	1.18	0.08
SN2-10/1000	350	0.53	0.05	0.05	0.89	0.08	0.61	0.11	0.08	1.05	0.11	1.32	0.11
SN3-10/2000	500	1.44	0.12	0.17	0.89	0.08	1.60	0.24	0.21	1.05	0.11	2.88	0.28
SN3-10/3000	500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.43	0.35
SN4-10/4000	1500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.50	0.25
												2.62	6.40
												1.17	—

注: 三层双列双母线系包括馈线电抗器。

表 2-15 35千伏屋内配电装置间隔主要材料消耗

断路器型式	遮断容量 (兆伏安)	主要材料消耗 (木材: 米 ³ /间隔, 其它: 吨/间隔)											
		单层单列单母线				单层单列双母线				三层双列双母线			
		钢材	铜	铝	水泥	木材	钢材	铜	铝	水泥	木材	钢材	铜
DW2-35/600	750	3.65	0.25	0.10	4.22	0.7	3.82	0.26	0.12	4.22	0.7	0.7	—
DW2-35/1000	1000	3.90	0.3	0.10	4.22	0.7	4.01	0.28	0.13	4.22	0.7	0.7	—

表 2-16 变电所固定部分综合经济指标

电 压 (千伏)	变 电 站 容 量 (千伏安)	综合投资 (万元)	主 要 材 料 消 耗 (木材: 米 ³ , 其它: 吨)			
			钢 材	铜	水 泥	木 材
35	2×750及以下	2.81	—	—	—	—
	2×1000~2×3200	8.80	16.6	0.26	29.94	11.64
	2×5600~2×15000	13.00	22.32	0.46	49.43	14.10
60	2×1000~2×3200	9.93	16.6	0.26	29.94	11.64
	2×5600~2×7500	14.97	22.4	0.48	62.52	16.39
	2×10000~2×20000	19.46	38.19	0.66	86.72	31.09
110	2×10000及以下	29.72	46.66	1.15	121.96	44.73
	2×15000~2×31500	34.20	53.97	1.31	138.56	55.43

表 2-17 变电所其它部分综合经济指标

变 电 站 电 压 等 级	35千伏	60千伏	110千伏
其它部分费用占变电站本体费用的%	5~4	4~3	3~2

表 2-18 变电所特殊部分综合经济指标

电 压 (千伏)	设备型号或容量 (千伏安或千乏)	综合投资 (万元)	主 要 材 料 消 耗 (木材: 米 ³ , 其它: 吨)			
			钢 材	铜	水 泥	木 材
6	XDJ-175/6	0.43	—	—	—	—
	XDJ-350/6	0.70	—	—	—	—
	XDJ-750/6	0.87	—	—	—	—
	XDJ-1400/6	1.35	—	—	—	—

1. 消 弧 线 圈

續表

电 压 (千伏)	設備型号或容量 (千伏安或千乏)	綜合投資 (万元)	主 要 材 料 消 耗 (木材: 米 ³ , 其它: 吨)			
			鋼 材	銅 鋁	水 泥	木 材
10	XDJ-300/10	0.70				
	XDJ-600/10	0.86				
	XDJ-1200/10	1.61				
35	XDJ-275/35	0.79	0.82	0.09	1.7	0.2
	XDJ-550/35	1.26	1.23	0.14	2.0	0.23
	XDJ-1100/35	4.42	1.77	0.2	2.2	0.26
	XDJ-2200/35	2.06	2.77	0.3	2.6	0.28
60	XDJ-950/60	3.41	3.31	0.4	3.0	0.33
	XDJ-1900/60	4.28	4.24	0.5	3.5	0.4
	XDJ-3800/60	5.05	5.94	0.67	4.0	0.45

2. 靜 电 电 容 器

6	3000千乏	10.62	6.23	1.54	11.2	1.26
	7500千乏	26.21	15.06	3.83	28	3.15
	15000千乏	57.19	29.93	7.63	56	6.3
10	3000千乏	12.10	6.15	1.53	11.2	1.26
	7500千乏	29.91	15.08	3.8	28	3.15
	15000千乏	59.60	29.96	7.6	56	6.3

3. 同期調相机(元/千乏)

10	2×KC-15000	81.30				
	2×KC-30000	71.00				
	2×KC-75000	61.70				

(4) 发送变电工程折旧维护率

表 2-19

項 目	每年基本 折 旧 率 (%)	每年大修 折 旧 率 (%)	維 护 及 小 修 率 (%)	折 旧 維 护 率 (%)
火力发电厂				
1500瓩以下	3.8	2	6.2	12
3000瓩	3.8	2	5.2	11
6000瓩	3.8	2	4.2	10
25000瓩以上	3.0	2	3.5	8.5
变电所				
2×3200千伏安以下	3.8	2	5.2	11
2×10000千伏安	3.8	2	3.2	9
电力綫路				
鉄塔輸电綫路	1.8	0.8	1.0	3.6
水泥杆輸电綫路	2.4	1.0	2.0	5.4
木杆輸电綫路	3.2	1.3	4.0	8.5
水泥杆配电綫路	3.2		3.0	6.2
木杆配电綫路	3.2		5.0	8.2
電纜綫路	2.4	1.0	2.5	5.9

注: 1. 每年基本折旧率和每年大修折旧率按国家规定。

2. 维护及小修率参考苏联数据及我国情况估計得出。

2-4 发送变电工程綜合經濟指标的編制方法

1. 火力发电厂綜合經濟指标的編制

(1) 火力发电厂新建工程投資

火力发电厂新建工程綜合投資指标按設備、安装、建筑、其它等四部分组成, 見表2-20。

表 2-20 新建小型火力发电厂綜合投資

机 炉 型 式	电厂容量 (瓩)	小 型 电 厂 投 资 指 标										单 位 瓩 投 资 (元/瓩)
		总造价 (万元)	其 中									
			設 备		建 筑		安 装		其 它			
			万 元	%	万 元	%	万 元	%	万 元	%		
机2×TK-0.75 炉2×6.5吨/时	1500	150 177	97.5 115.0	65	25.5 30.1	17	15.0 17.7	10	12.0 14.2	8	1000 1180	
机2×TK-1.5 炉2×10吨/时	3000	270 300	162.0 180.0	60	64.8 72.0	24	21.6 24.0	8	21.6 24.0	8	900 1000	
机2×AK-3 炉2×20吨/时	6000	504 541	302.4 324.0	60	121.0 129.6	24	40.3 43.2	8	40.3 43.2	8	840 900	
机2×AK-6 炉2×35吨/时	12000	876 960	508.0 557.0	58	228.0 250.0	26	70.0 76.5	8	70.0 76.5	8	730 800	

注：各投資指标中列入两个数据，上面一个是推荐的一般标准，下面的数据为上限值。

1) 設備費用 設備費用在火力发电厂全部投資中占有很大的比重，根据一些統計和調查資料来看，2×750~2×6000 瓩火电厂的設備費用約占电厂总投資的55~65%。

設備費用中包括：主設備(鍋爐、汽輪機、發電機)及其附屬設備；電氣設備(發電機引出綫、廠用電、主控制室、升壓變電站、全廠電纜、全廠通訊)；輸煤設備；除灰設備；化學水處理設備；中心修配廠；全廠熱工儀表；實驗室及其它等設備和設備的運雜費。

2) 安裝費用 安裝費用包括全廠設備的安裝直接費和安裝間接費。安裝直接費為安裝的裝置材料，工資，機械使用費等。安裝間接費為安裝施工單位的施工管理費等。

根据統計及調查資料 2×750~2×6000 瓩电厂的安裝費用約占电厂总投資的8~10%。

3) 建筑費用 建筑費用包括主厂房、基础、烟囪、主控制室、水工建筑、輸煤、除灰、升壓變電站及配電室、輔助及附屬建筑等。

根据統計及調查資料 2×750~2×6000 瓩电厂的建筑費用約占电厂总投資的15~26%。

4) 其它費用 其它費用包括場地平整，迁移賠償，施工水源，临时建筑等。此項費用占 2×750~2×6000 瓩电厂总投資的8%左右。

表2-20所列数据系两机两炉情况，当电厂机炉台数有变化时，可以根据經驗統計的台数比減率加以修正，建議采用的台数比減率为 120:100:95:90 (对单位瓩投資而言)。即将两机两炉投資数作为100，同一类型的一机一炉电厂投資为120，三机三炉为95，四机四炉为90。例如 2 台1500瓩机和 2 台 10 吨/时炉的单位瓩投資为 1000 元，則 1 台 1500 瓩机和 1 台 10 吨/时炉的单位瓩投資为 1200 元。

对扩建的补充瓩投資，可按同类电厂新建投資的80%計算。

(2) 火力发电厂工程主要材料消耗

表 2-21 火力发电厂工程主要材料消耗

机 组 容 量	鋼 材 (公斤/瓩)		木 材	水 泥	有色金属
	建筑安装	設 备	(米 ³ /瓩)	(公斤/瓩)	(公斤/瓩)
ΓK-750	78	120	0.2	231	4.15
ΓK-1500	74.8	87	0.15	246	3.99
ΓK-3000	81.9	72.5	0.16	221	3.65
AK-6000	89	58.9	0.177	195	3.30
AK-12000	77	68.6	0.13	160	2.96
AK-25000	70.6	57.2	0.1	130	2.21
AK-50000	58	46.4	0.07	120	1.16

注: 1. 扩建机组应按95%计算。

2. 两台机组时应按一台机组的1.9倍计算, 三台机组按2.85, 四台按3.80。

3. 有色金属消耗主要是发电机、凝汽器中的铜材消耗, 一般占85%左右。

(3) 火力发电厂运行指标

1) 火力发电厂年运行费用的计算 火力发电厂的年运行费用, 应包括一年中所消耗的生产、管理、运行维护、固定资产的折旧以及其它等费用。

火力发电厂的年运行费可用下式表示:

$$F_{f,d} = x_{zh,j} Z_{f,d} + F_{r,l}, \quad (2-3)$$

式中 $F_{f,d}$ ——发电站的年运行费;

$Z_{f,d}$ ——发电站的综合投资;

$x_{zh,j}$ ——火电站的折旧维护率(见表2-19);

$F_{r,l}$ ——火电站的年燃料费。

$$[F_{r,l} = 1.02 \cdot L_d \cdot x_m \cdot J_m \cdot \mu]$$

式中 1.02——运输损失系数;

L_d ——年发电量(千度);

x_m ——年平均发电标准煤耗率(吨/千度);

J_m ——燃料平均到厂价格(元/吨);

μ ——天然煤折成标准煤的系数($\frac{\text{原煤发热量}}{7000}$);

2) 750~6000瓩火电厂的运行经济指标

表 2-22 小型火力发电厂主要的运行经济指标

运行 经济 指标 电 厂 容 量	折旧材料 料备件 费 (元/瓩)	工资管理 及其它 費用 (元/瓩)	电 厂 工 作 人 員 数 (人/千瓩)	煤耗率 (公斤/度)	厂用电 率 (电力) (%)	厂用电 率 (电量) (%)	每单位 瓩投资 (元/瓩)	电 厂 年 最大 負荷 利用 小时数 (小时)	发电成本 (元/千度)
1×750	97.3	47.3	70	1.17	5	14~15	1200	1500~ 2000	143.9~ 119.8
1×1500	87.5	40.6	60	0.875	5	11~12	1080	2000~ 2500	99.0~ 86.1
1×3000	81.8	30.4	45	0.625	6	10~11	1010	2500~ 3000	69.3~ 61.7
1×6000	71.0	16.9	25	0.578	6	8~9	876	3000~ 3500	51.3~ 47.1

注: 1. 折旧率: 设备折旧率 $p=5.8\%$; 材料备件的折旧费占设备总折旧费的40%左右。

2. 本表所列单位瓩投资系按新建小型火力发电厂投资表中下限数值乘以一机一炉的比减率而得的。

3. 火电厂的平均人员工资取450元/人年; 管理及其他费用占全厂总工资数的50%左右。

4. 煤耗率主要是根据理论推算得出, 并参考了相应的一些统计数字, 但农村电厂目前轻负荷运行情况较多, 所以该数据可能对轻负荷电厂来说偏低一些。

5. 一般大型电厂厂用电率(电力或电量)相差不大, 而小型电厂的厂用电率有时差别较大, 在此列出的数据仅供参考。

6. 目前小型电厂的年最大负荷利用小时数变化较大, 在此仅列出一个大致范围。发电成本是按此利用小时数计算得出, 使用时可以根据本电厂的情况加以修正。

7. 燃料到厂费用按每吨35元计算。

表 2-23 大中型电厂主要运行经济指标

项 目	AK-12	AK-25	AK-50
标准煤耗率(公斤/度)	0.517	0.511	0.501
厂用电量率(%)	9	8	7
每千瓩人数(人/千瓩)	7	5	3

(4) 火力发电厂综合经济指标编制的依据和参考资料

1) 投资指标主要根据下述资料编制的:

甲、电力建设总局1962年推荐数据;

乙、电力建设总局1962年山西、四川省小型电厂调查资料;

丙、水利电力部的旧统计资料。

2) 主要材料消耗指标系根据下列资料编制:

甲、水利电力部1959年“电站建设用设备器材手册”;

乙、西安电力设计院1960年编的系统设计手册。

2. 电力线路综合经济指标的编制

(1) 电力线路新建工程投资

1) 电力线路工程综合投资指标的组成及内容:

电力线路费用 = 导线部分费用 + 杆塔部分费用 + 其它部分费用

导线部分投资($Z_{d,w}$)包括: 导线、地线及相应的架设安装费和运杂费。

杆塔部分投资($Z_{g,t}$)包括: 塔材、瓷瓶金具及相应的组立安装费和运杂费。

其它部分投资($Z_{q,t}$)包括: 杆塔基础、接地工程、工地运输、现场清理、赔偿、施工道路、杆塔瓷瓶试验、事故备用材料、临时工程费、工程管理费、未预见费等。

2) 电力线路工程综合投资指标的推算 根据电力线路工程综合投资指标的组成, 综合投资指标的计算可用下式表示:

$$Z_{w,t} = Z_{d,w} + Z_{g,t} + Z_{q,t} \quad (2-4)$$

上式中等号右面各项可以由下列式子求出:

$$\begin{aligned} Z_{d,w} &= (1 + x_{d,w}) J_{d,w} + (1 + x_{d,w}) x_{d,f} J_{d,w} + F_{d,sh} \\ &= (1 + x_{d,w}) (1 + x_{d,f}) J_{d,w} + F_{d,sh} \end{aligned}$$

式中 $J_{d,w}$ ——导线每公里长度的出厂价格;

$x_{d,w}$ ——导线每公里长度架设的损耗率, 根据1962年设备安装价目表规定为1.3%;

$x_{d,f}$ ——导线出厂至工地仓库的运杂费率(见表2-28);

$F_{d,sh}$ ——导线的安装费用(包括直接费和间接费, 直接费由1962年设备安装价目表可查出, 间接费为安装直接费中工资的1.5倍)。

$$\begin{aligned} Z_{g,t} &= (a_1 + b_1 + c_1) B_1 + (a_2 + b_2 + c_2) B_2 \\ &\quad + (a_3 + b_3 + c_3) B_3 + (a_1 B_1 + a_2 B_2 \\ &\quad + a_3 B_3) B_4, \end{aligned}$$

式中 a_1 ——每基直线杆塔材料费(包括主杆横担等);

a_2 ——每基耐张杆塔材料费(包括主杆横担等);

a_3 ——每基转角杆塔材料费(包括主杆横担等);

b_1 ——每基直线杆塔瓷瓶及金具费用;

b_2 ——每基耐张杆塔瓷瓶及金具费用;

b_3 ——每基转角杆塔瓷瓶及金具费用;

c_1 ——每基直线杆塔组立安装费;

表2-24 0.38~10千伏每公里线路直线杆基数(B_1)和耐张杆基数(B_2)

导线种类	导线牌号	0.38 千伏		6~10 千伏	
		B_1 (基)	B_2 (基)	B_1 (基)	B_2 (基)
铝绞线	L-16	17	3	17	3
	L-25	16.5	2.5	16.5	2.5
	L-35	14.5	2.5	14.5	2.5
	L-35及以上	12	2	12	2
钢(铁)绞线	G-25	9.5	1.5	9.5	1.5
	G-35	9.5	1.5	9.5	1.5
	G-50	9.5	1.5	9.5	1.5
	G-70	8.7	1.3	8.7	1.3
	G-95	7.8	1.2	7.8	1.2
钢(铁)线	G- ϕ 3.5至 ϕ 6	14.5	2.5	14.5	2.5
铜绞线	T-10至35	14.5	2.5	—	—
	T-50	12	2	—	—
	T-70及以上	11.2	1.8	—	—

注: 0.38千伏三相三线制与三相四线制采取了同样的基数。

c_2 ——每基耐張杆塔組立安裝費；

c_3 ——每基轉角杆塔組立安裝費；

B_1 ——每公里直綫杆塔基数；

B_2 ——每公里耐張杆塔基数；

B_3 ——每公里轉角杆塔基数；

B_4 ——杆塔出厂(包括材料)运至工地仓库的运杂费率(见表2-28)。

$$Z_{q,t} = (Z_{d,w} + Z_{g,t})x_{g,w},$$

式中 $x_{g,t}$ ——每公里綫路輔助及其他費用系数。

本章所介绍的电力綫路綜合投資指标的編制，即采取上述的方法进行計算的，其所使用的有关参数如表2-24：

表 2-25 35~110千伏每公里綫路直綫杆基数(B_1)和耐張杆基数(B_2)、轉角杆基数(B_3)

鋼芯鋁綫牌号	木 杆			水 泥 杆								
	35 千 伏			35 千 伏			60 千 伏			110 千 伏		
	B_1	B_2	B_3	B_1	B_2	B_3	B_1	B_2	B_3	B_1	B_2	B_3
LG-35	5.4	0.9	0.5	5.0	0.9	0.5	—	—	—	—	—	—
LG-50	5.3	0.9	0.5	4.8	0.9	0.5	4.5	0.7	0.4	—	—	—
LG-70	5.2	0.9	0.5	4.7	0.9	0.5	4.4	0.7	0.4	3.7	0.5	0.3
LG-95	5.1	0.9	0.5	4.6	0.9	0.5	4.3	0.7	0.4	3.5	0.5	0.3
LG-120	5.0	0.8	0.5	4.4	0.9	0.5	4.2	0.7	0.4	3.3	0.5	0.3
LG-150	4.9	0.8	0.5	4.3	0.9	0.5	4.1	0.7	0.4	3.2	0.5	0.3
LG-185	4.7	0.8	0.5	4.2	0.9	0.5	4.1	0.7	0.4	3.1	0.5	0.3

注：35千伏水泥杆鋼导綫每公里数除 G-25 截面分別为 $B_1=5.2$ 、 $B_2=0.9$ 、 $B_3=0.5$ ，35千伏木杆鋼导綫 G-25 截面分別为 $B_1=5.6$ 、 $B_2=0.9$ 、 $B_3=0.5$ 外，其余截面的基数与35千伏鋼芯鋁綫的相同。

表 2-26 0.38~10千伏綫路每基杆塔及瓷瓶鉄件費用(元)

杆 塔 种 类	0.38 千 伏				6 千 伏				10 千 伏			
	杆高	$a_1=a_2$	b_1	b_2	杆高	$a_1=a_2$	b_1	b_2	杆高	$a_1=a_2$	b_1	b_2
水泥杆	8 米	75	10	30	10 米	102	40	100	10 米	102	50	120
木 杆	8 米	35	10	30	10 米	58	40	100	10 米	58	50	120

表 2-27 35~110千伏綫路每基杆塔及瓷瓶金具費用(元)

鋼芯鋁綫牌号	木 杆			水 泥 杆			35 千 伏			60 千 伏			110 千 伏		
	35 千 伏			35 千 伏			35 千 伏			35 千 伏			35 千 伏		
	a_1+c_1	a_2+c_2	b_2	a_1+c_1	a_2+c_2	b_2	a_1+c_1	a_2+c_2	b_2	a_1+c_1	a_2+c_2	b_2	a_1+c_1	a_2+c_2	b_2
LG-35	350	500	149	298	304	152	400	440	175	720	740	340	1000	1010	202
LG-50	370	520	152	304	320	160	440	460	175	740	760	340	1000	1010	202
LG-70	380	530	160	320	330	165	460	470	184	740	760	340	1000	1010	202
LG-95	400	550	165	330	334	167	470	500	190	780	800	340	1000	1010	202
LG-120	420	560	167	334	360	180	500	530	195	840	860	340	1000	1010	202
LG-150	440	580	180	360	366	183	530	540	205	840	860	340	1000	1010	202
LG-185	460	600	183	366	366	183	540	540	207	840	860	340	1000	1010	202

注：35千伏鋼导綫除 G-25 截面的木杆 $a_1+c_1=330$ 元、 $a_2+c_2=480$ 元、 $b_2=144$ 元、 $b_2=294$ 元，水泥杆 $a_1+c_1=360$ 元、 $a_2+c_2=700$ 元、 $b_1=165$ 元、 $b_2=330$ 元外，其余截面完全与鋼芯鋁綫

相同。

表 2-28 导线及杆塔的运杂费率(北京地区)

	型 式	运 杂 费 率 (%)
导 线	裸 铜 线	5.1
	裸 铝 线	5.2
	钢芯铝线	6.5
	钢(铁)线	4.6
杆 塔	木 杆	10.0
	水 泥 杆	6.6

表 2-29 0.38~110千伏每公里线路辅助及其他费用系数

电 压 等 级	$\alpha_{g.t}$ (%)
0.38千伏	5
6 千伏	10
10 千伏	10
35 千伏	13
60 千伏	13
110 千伏	13

3) 0.38~110千伏送配电线路分项投资表

(2) 电力线路的年运行费计算

电力线路年运行费用, 应包括在一年中所消耗的电能损失、生产管理、运行维护、固定资产的折旧及其他等费用。

电力线路年运行费用的计算可用下式表示:

$$F_{a.t} = \alpha_{a.h.j} \cdot Z_{a.t} + F_{d.n} \quad (2-5)$$

式中 $F_{a.t}$ ——电力线路的年运行费;

$Z_{a.t}$ ——电力线路的综合投资;

$\alpha_{a.h.j}$ ——电力线路的折旧维护率(见表2-19);

$F_{d.n}$ ——电力线路的年电能损失费。

$$[F_{d.n} = L_d B,$$

L_d ——电力线路年损失电量(千度),

B ——电能成本(元/千度).]

表 2-30 0.38~10千伏铜导线线路(水泥杆)投资指标
(单位: 万元/公里)

电 压	种 类	项 目	0.38 千伏				6 千伏				10 千伏			
			水	泥	杆	导 线 费 用	杆 塔 费 用	导 线 费 用	杆 塔 费 用	导 线 费 用	杆 塔 费 用	导 线 费 用	杆 塔 费 用	导 线 费 用
G-25			0.0899	0.1415	0.0116	0.2330	0.0909	0.1901	0.0281	0.3091	0.0909	0.2020	0.0293	0.3222
G-35			0.1286	0.1415	0.0135	0.2836	0.1266	0.1901	0.0317	0.3484	0.1266	0.2020	0.0329	0.3615
G-50			0.1771	0.1415	0.0159	0.3345	0.1829	0.1901	0.0373	0.4103	0.1829	0.2020	0.0385	0.4233
G-70			0.2803	0.1283	0.0204	0.4290	0.2823	0.1720	0.0454	0.4997	0.2823	0.1834	0.0466	0.5123
G-95			0.3166	0.1283	0.0445	0.4894	0.3181	0.1720	0.0492	0.5410	0.3181	0.1834	0.0502	0.5517
G- ϕ 3.5			0.0176	0.2180	0.0118	0.2474	0.0211	0.2943	0.0315	0.3469	0.0211	0.3139	0.0335	0.3685
G- ϕ 4			0.0222	0.2180	0.0120	0.2522	0.0242	0.2943	0.0316	0.3503	0.0242	0.3139	0.0338	0.3719
G- ϕ 5			0.0343	0.2180	0.0127	0.2656	0.0364	0.2943	0.0331	0.3638	0.0364	0.3139	0.0350	0.3853
G- ϕ 6			0.0413	0.2180	0.0264	0.2863	0.0424	0.2943	0.0337	0.3704	0.0424	0.3139	0.0356	0.3919

表 2-31 0.38~10千伏鋼導綫路(木杆)投資指標
(單位: 萬元/公里)

電 種 類 項 目 牌 號	0.38千伏				6 千伏				10 千伏			
	木		杆		木		杆		木		杆	
	導綫費用	杆塔費用	其他費用	綜合費用	導綫費用	杆塔費用	其他費用	綜合費用	導綫費用	杆塔費用	其他費用	綜合費用
G-25	0.0899	0.0711	0.0081	0.1402	0.0909	0.1339	0.0225	0.2473	0.0909	0.1466	0.0238	0.2613
G-35	0.1286	0.0711	0.0099	0.2046	0.1266	0.1339	0.0261	0.2866	0.1266	0.1466	0.0273	0.3005
G-50	0.1771	0.0711	0.0128	0.2610	0.1829	0.1339	0.0317	0.3485	0.1829	0.1466	0.0329	0.3624
G-70	0.2803	0.0645	0.0175	0.2623	0.2823	0.1214	0.0404	0.4441	0.2823	0.1327	0.0415	0.4565
G-95	0.3166	0.0645	0.0191	0.4002	0.3181	0.1214	0.0439	0.4836	0.3181	0.1327	0.0451	0.4959
G-φ3.5	0.0176	0.1104	0.0064	0.1344	0.0211	0.2074	0.0229	0.2514	0.0211	0.2274	0.0248	0.2733
G-φ4	0.0222	0.1104	0.0066	0.1392	0.0242	0.2074	0.0232	0.2548	0.0242	0.2274	0.0252	0.2768
G-φ5	0.0343	0.1104	0.0072	0.1519	0.0364	0.2074	0.0244	0.2682	0.0364	0.2274	0.0264	0.2902
G-φ6	0.0413	0.1104	0.0076	0.1593	0.0424	0.2074	0.0439	0.2747	0.0424	0.2274	0.0269	0.2967

表 2-32 0.38~10千伏鋁綫單基杆電力綫路(水泥杆)投資指標
(單位: 萬元/公里)

電 種 類 項 目 牌 號	0.38千伏				6 千伏				10 千伏			
	水		泥		水		泥		水		泥	
	導綫費用	杆塔費用	其他費用	綜合費用	導綫費用	杆塔費用	其他費用	綜合費用	導綫費用	杆塔費用	其他費用	綜合費用
L-16	0.0817	0.2572	0.0169	0.3559	0.0828	0.3467	0.0429	0.4725	0.0828	0.3696	0.0452	0.4977
L-75	0.1201	0.2474	0.0184	0.3870	0.1212	0.3270	0.0448	0.4930	0.1212	0.3479	0.0469	0.5182
L-35	0.1296	0.2186	0.0194	0.4077	0.1703	0.2943	0.0465	0.5111	0.1704	0.3139	0.0484	0.5327
L-50	0.2372	0.1801	0.0208	0.4382	0.2379	0.2419	0.0479	0.5278	0.2379	0.2579	0.0496	0.5454
L-70	0.3341	0.1801	0.0258	0.5411	0.3345	0.2419	0.0576	0.6340	0.3345	0.2579	0.0592	0.6514
L-95	0.4450	0.1801	0.0313	0.6564	0.4454	0.2419	0.0687	0.7560	0.4454	0.2579	0.0703	0.7736
L-120					0.5786	0.2419	0.0821	0.9025	0.5786	0.2579	0.0837	0.9201
L-150					0.7232	0.2419	0.0965	1.0616	0.7232	0.2579	0.0981	1.0792

表 2-33 0.38~10千伏铝导线单基杆电力线路(木杆)投资指标
(单位:万元/公里)

电 压 种 类 导 线 牌 号	0.38千伏				6 千伏				10 千伏			
	木		杆		木		杆		木		杆	
	导线 费用	杆塔 费用	其他 费用	综合 费用	导线 费用	杆塔 费用	其他 费用	综合 费用	导线 费用	杆塔 费用	其他 费用	综合 费用
L-16	0.0817	0.1301	0.0106	0.2224	0.0828	0.2451	0.0328	0.3607	0.0828	0.2679	0.0351	0.3858
L-25	0.1201	0.1228	0.0122	0.2551	0.1212	0.2326	0.0354	0.3892	0.1212	0.2470	0.0370	0.4072
L-35	0.1696	0.1104	0.014	0.294	0.1704	0.2074	0.0378	0.4155	0.1704	0.2274	0.0398	0.4375
L-50	0.2372	0.0908	0.0164	0.3444	0.2379	0.1712	0.0409	0.4500	0.2379	0.1867	0.0425	0.4671
L-70	0.3341	0.0908	0.0212	0.4461	0.3345	0.1712	0.0506	0.5563	0.3345	0.1867	0.0521	0.5733
L-95	0.4450	0.0908	0.0268	0.5626	0.4454	0.1712	0.0617	0.6783	0.4454	0.1867	0.0632	0.6953
L-120					0.5786	0.1712	0.0749	0.8248	0.5786	0.1867	0.0765	0.8418
L-150					0.7232	0.1712	0.0894	0.9839	0.7232	0.1867	0.0909	1.0009

表 2-34 0.38千伏铝导线电力线路(三相四线制)投资指标
(单位:万元/公里)

导 线 牌 号	导 线 费 用	杆 塔 费 用		其 他 费 用		综 合 费 用	
		木 杆	水泥杆	木 杆	水泥杆	木 杆	水泥杆
L(3×16+1×16)	0.1091	0.1301	0.2572	0.012	0.0183	0.2512	0.3846
L(3×25+1×16)	0.1475	0.1228	0.2474	0.0135	0.0198	0.2838	0.4147
L(3×35+1×16)	0.1969	0.1104	0.2186	0.0154	0.0208	0.3227	0.4363
L(3×50+1×25)	0.3093	0.0908	0.1801	0.020	0.0244	0.4201	0.5138
L(3×70+1×35)	0.3912	0.0908	0.1801	0.0241	0.0286	0.5061	0.5999
L(3×95+1×50)	0.5226	0.0908	0.1801	0.0306	0.0352	0.6440	0.7379

表 2-35 0.38千伏铜导线线路(三相四线制)投资指标
(单位:万元/公里)

电 压 导 线 牌 号	0.38 千伏						
	导 线 费 用	杆 塔 费 用		其 他 费 用		综 合 费 用	
		木 杆	水泥杆	木 杆	水泥杆	木 杆	水泥杆
T-3×16+1×10	0.4086	0.1104	0.2187	0.0260	0.0314	0.545	0.6587
T-3×25+1×16	0.6356	0.1104	0.2187	0.0372	0.0427	0.7842	0.8970
T-3×35+1×16	0.8316	0.1104	0.2187	0.0471	0.0524	0.9890	1.1027
T-3×50+1×25	1.1746	0.0906	0.1799	0.0635	0.0675	1.3287	1.4218
T-3×70+1×35	1.6958	0.0842	0.1668	0.0890	0.0928	1.8690	1.9224
T-3×95+1×50	2.2789	0.0842	0.1668	0.1180	0.1225	2.4811	2.5682

表 2-36 0.38千伏铜导线线路(三相三线制)投资指标
(单位:万元/公里)

电 压 导 线 牌 号	0.38 千伏					
	导 线 费 用	杆 塔 费 用		其 他 费 用		综 合 费 用
		木 杆	水泥杆	木 杆	水泥杆	
T-16	0.3433	0.1104	0.2187	0.0226	0.0281	0.4763
T-25	0.5203	0.1104	0.2187	0.0315	0.0370	0.6622
T-35	0.7179	0.1104	0.2187	0.0414	0.0471	0.8687
T-50	1.0027	0.0906	0.1799	0.0547	0.0593	1.1480
T-70	1.4561	0.0842	0.1668	0.077	0.0811	1.6173
T-95	1.9479	0.0842	0.1668	0.1016	0.1055	2.1337

表2-37 35~110千伏鋼芯鋁綫單基杆綫路投資指標
(單位:萬元/公里)

電 壓 種 類 項 目 導 線 牌 號	35 千 伏				35 千 伏				60 千 伏				110 千 伏				
	木 杆				水 泥 杆				水 泥 杆				水 泥 杆				
	導 線 費 用	杆 塔 費 用	其 他 費 用	綜 合 費 用	導 線 費 用	杆 塔 費 用	其 他 費 用	綜 合 費 用	導 線 費 用	杆 塔 費 用	其 他 費 用	綜 合 費 用	導 線 費 用	杆 塔 費 用	其 他 費 用	綜 合 費 用	
LG-35	0.2329	0.3643	0.0776	0.6742	0.2323	0.4580	0.0899	0.7802									
LG-50	0.3225	0.3755	0.0907	0.7887	0.3225	0.4773	0.1038	0.9036	0.3225	0.6012	0.1200	1.0437					
LG-70	0.4249	0.3821	0.1050	0.9120	0.4229	0.4909	0.1190	1.0328	0.4249	0.6076	0.1345	1.1650	0.4342	0.6868	0.1460	1.2670	
LG-95	0.6147	0.3927	0.1310	1.1384	0.6147	0.4971	0.1445	1.2593	0.6147	0.6110	0.1592	1.3849	0.6259	0.6984	0.1725	1.4998	
LG-120	0.7349	0.4004	0.1475	1.2828	0.7349	0.5093	0.1590	1.4032	0.7349	0.6502	0.1805	1.5656	0.7461	0.7020	0.1882	1.6363	
LG-150	0.9091	0.4054	0.1710	1.4855	0.9091	0.5346	0.1876	1.6313	0.9091	0.6755	0.2060	1.7906	0.9224	0.7190	0.2130	1.8544	
LG-185	1.1104	0.4088	0.1961	1.7152	1.1104	0.5415	0.2120	1.8639	1.1104	0.7086	0.2360	2.0660	1.1237	0.7474	0.2430	2.1141	

表2-38 35千伏鋼導綫單基杆送電綫路投資指標

(單位:萬元/公里)

導 綫 牌 号	導 綫 費 用	杆 塔 費 用		其 他 費 用		綜 合 費 用	
		木 杆	水 泥 杆	木 杆	水 泥 杆	木 杆	水 泥 杆
G-25	0.1363	0.3585	0.4420	0.0644	0.0753	0.5593	0.6536
G-35	0.1671	0.3643	0.4580	0.0692	0.0814	0.6006	0.7069
G-50	0.2156	0.3755	0.4773	0.0769	0.0891	0.6679	0.7820
G-70	0.3100	0.3821	0.4909	0.0900	0.1045	0.7821	0.9054
G-95	0.3636	0.3926	0.4974	0.0984	0.1120	0.8546	0.9727

(3)送配电綫路綜合經濟指标編制的依据和規定条件

1)綫路通过地区大部分为平原地带,不通过居民区,无大跨越,气象条件为Ⅱ类。如非上述地区,35~110千伏送电綫路的投資应考虑表2-39中的修正系数。

表2-39

电 压	35 千 伏	60 千 伏	110 千 伏
地区条件			
一般山区	1.2~1.25	1.2~1.25	1.15~1.25
特殊山区	1.25~1.35	1.25~1.35	1.25~1.35
泥沼地区	1.10~1.15	1.10~1.15	1.10~1.15
城市工业区	1.25~1.35	1.25~1.35	1.25~1.35

2)35~110千伏綫路的投資及材料消耗指标,系按单基杆数值編制的。如为双基杆綫路,投資可按表2-40中的数字增加(小截面用大的数值,大截面用小的数值)。

表2-40

电 压 等 級	35 千 伏	60 千 伏	110 千 伏
增 加 (%)	10~30	10~25	8~18

3) 导线本体材料价格系按1962年一机部产品价格计算。

4) 杆塔费用及每公里基数系参照过去的典型设计及具体工程实际平均杆塔数, 加以估算而得。

5) 导线架设及杆塔组立安装费用, 系按电力建设总局1962年出版的电气设备安装价目表计算。安装间接费计入在安装费中, 为工资的1.5倍。

3. 变电所综合经济指标的编制

本节变电站综合经济指标是按扩大单元编制的。

(1) 变电所新建工程投资

1) 变电所新建工程综合投资指标的组成及内容:

变电所总费用 = 主变压器 + 配电装置间隔 + 固定部分
+ 特殊部分 + 其它部分。

主变压器部分包括: 变压器及其安装, 干燥试验, 油过滤设备, 高低压侧引线及安装, 控制与保护设备, 装置材料及控制电缆, 土建基础及支架。

配电装置间隔费用包括: 遮断器本体和油开关, 隔离开关, 端子箱, 控制及保护设备, 安装材料及控制电缆, 土建基础及架构等。

固定部分费用包括: 主控制楼的一般土建、暖通、照明, 室内上下水道, 电缆敷设及公用的控制保护设备, 直流设备, 所用电气设备, 室外照明, 避雷针及接地, 室外电缆沟, 室外上下水道, 油库, 通讯, 道路, 围墙, 宿舍及附属建筑物。

特殊部分费用包括:

甲) 消弧线圈(包括设备、安装及土建);

乙) 静电电容器(包括电容器, 电压互感器, 隔离开关, 熔断器等设备及安装土建等);

丙) 同期调相机(包括调相机的机、电、水的全部设备, 安装和土建部分)。

其它部分费用包括: 土地征购, 拆迁, 挖填, 生产用具购置

等, 常以变电站本体费用(主变压器 + 配电装置间隔 + 固定部分 + 特殊部分)的百分数表示。

2) 变电站新建工程分项投资

表 2-41 变压器及遮断器的新旧型号对照表

产 品 名 称	原 型 号	新 型 号
变压器		
三相双卷油浸自冷式	TM	SJ
三相双卷油浸风冷式(防雷)	TΔΓ	SFL
三相三卷油浸风冷式(防雷)	TΔTΓ	SFSL
遮断器		
屋外高压多油遮断器	BM-35	DW1-35
	BMΔ-35	DW1-35D
	MKII-35	DW2-35
	G-50	DW1-60
	G-100	DW1-60G
	MKII-160	DW2-110
	MKII-110	DW3-110
	MKII-110M	DW3-110G
屋外高压少油遮断器	MT-35	SW1-35
	MT-110	SW1-110
屋内高压少油遮断器	BMT-133I	SN1-10
	BMT-133 II、III	SN2-10
	MTΓ-10	SN3-10
隔离开关		
屋外高压隔离开关	PIH-35	GW2-35
	PIH3-35	GW2-35D
屋内高压隔离开关	PIB III-10	GN2-10
负荷开关	BHI-16	FN2-10

表 2-43 35~110千伏屋外配电装置遮断器間隔綜合投資表
(单位: 万元/間隔)

单 母 綫											双 母 綫								
无 旁 路 母 綫						有 旁 路 母 綫			桥 型 接 綫		无 旁 路 母 綫				有 旁 路 母 綫				
压 器 进 綫	三 卷 变	压 器 进 綫	饋 电 綫		母 綫 分 段	双 (或三) 卷 变 压 器 进 綫	饋 电 綫	旁 路	内 桥 (三 隔 个 总 計)	外 桥 (三 隔 个 总 計)	双 卷 变 压 器 进 綫	三 卷 变 压 器 进 綫	饋 电 綫	母 联	双 (三) 卷 变 压 器 进 綫	饋 电 綫	母 联	旁 路	
.50	1.62	1.77	0.27	0.67	2.27	2.16	2.03	2.38	2.05	5.79	5.14	1.88	2.05	2.43	2.25	2.33	2.63	2.72	2.38
	1.16	1.31			1.81	1.70	1.57	1.92	1.59	4.42	3.77	1.42	1.59	1.69	1.79	1.87	2.17	2.26	1.92
	1.20	1.35			1.85	1.74	1.60	1.95	1.63	4.53	3.88	1.46	1.63	1.90	1.83	1.91	2.21	2.30	1.96
	1.85	2.01			2.50	2.40	2.26	2.63	2.29	6.51	5.86	2.12	2.29	2.67	2.49	2.57	2.87	2.96	2.62
	1.92	2.10			2.60	2.49	2.40	2.73	2.36	6.84	6.15	2.21	2.40	2.79	2.58	2.70	3.01	3.09	2.71
	4.27	4.49			4.95	4.92	4.96	5.25	4.78	14.59	14.03	4.75	4.98	5.37	5.09	5.51	5.70	5.94	5.36
	4.68	4.96			5.43	5.40	5.48	5.78	5.20	16.13	15.45	5.22	5.50	5.90	5.56	6.09	6.29	6.51	5.83
	6.03	6.34			7.35	7.31	7.01	7.77	7.08	20.79	19.82	6.18	6.90	8.35	7.90	7.69	8.76	9.01	8.19
	8.22	8.52			9.54	9.50	9.19	9.96	9.27	27.41	26.43	8.85	9.16	10.61	10.19	9.95	11.05	11.29	10.48
	8.92	9.28			9.22	10.26	10.01	9.71	9.96	29.76	28.65	9.60	9.98	11.40	10.95	10.83	11.91	12.17	11.24
	7.61	7.91			8.93	8.89	8.58	9.35	8.66	25.58	24.6	8.24	8.55	10.00	9.58	9.34	10.44	10.67	9.87
	8.04	8.34			9.36	9.32	9.01	9.77	9.09	26.87	25.89	8.67	8.98	10.43	10.01	9.77	10.87	11.11	10.30

表 2-44 6~35千伏屋內配电装置遮断器間隔綜合投資表

(单位: 万元/間隔)

电 压 (千伏)	遮断器或隔离开关型号	单 层 单 列 单 母 綫						单层单列双母綫		三 层 双 列 双 母 綫			
		进 綫	电 纜 饋 綫					进 綫	电纜饋綫	进 綫	电纜饋綫(其中电抗器型号)	电纜饋綫(其中电抗器型号)	
6~10	GN2-10(隔离开关)		0.16										
	FN2-10(負荷开关)			0.23									
	HK-10(熔断器)				0.17								
	FN2-10(負荷开关配合熔断器)					0.24							
	SN1-10/600A 200MBA						0.47		0.54		1.66(NK-10-600-6)		
	SN2-10/600 350						0.48		0.55		1.69(NK-10-600-6)		
	SN2-10/1000 350						0.54		0.62		3.13(NK-10-600-6)		
	SN3-10/2000 500	0.97						1.05		1.44			5.73(NK-10-1000-10)
SN3-10/3000 500									1.58			6.35(NK-10-1500-10)	
SN4-10/4000 1500									3.29			8.58(NK-10-2000-10)	
电 压 (千伏)	遮 断 器 型 号	单 母 綫				双 母 綫							
		进 綫	母綫分段	饋 綫		进 綫	母綫联络	架空饋綫	电纜饋綫				
35	SW1-35/600A 400MBA	1.38	2.16	2.21		2.16	2.47	2.72					
	DW1-35/600A 400	1.15	1.70	1.75		1.70	2.01	2.26					
	DW1-35D/600A 400	1.18	1.73	1.79		1.73	2.05	2.19					
	DW2-35/600 750	1.82	1.93	2.33		2.23	2.60	2.76	2.59				
	DW2-35/1000 1000	1.99	2.34	2.62		2.58	2.89	3.13					

三 层 双 列 双 母 綫

綫	电 纜 饋 綫 (其中电抗器型号)	电 纜 饋 綫 (其中电抗器型号)
	1.66(NK-10-600-6) 1.69(NK-10-600-6) 3.13(NK-10-600-6)	5.73(NK-10-1000-10) 6.35(NK-10-1500-10) 8.58(NK-10-2000-10)

表 2-45 电压互感器及避雷器間隔綜合投資表

(单位: 万元/間隔)

电 压 (千伏)	电压互感器, 避雷器間隔形式	綜 合 投 資
屋內配电装置		
10	单层单列单母綫間隔	0.28
	单层单列双母綫間隔	0.30
	三层双列双母綫間隔	0.52
35	双层单列单母綫間隔	0.85
	双层单列双母綫間隔	1.18
屋外配电装置		
35	电压互感器及避雷器間隔	0.88
60		2.11
110		3.32

表 2-46 变电所固定部分綜合投資表

(单位: 万元)

电 压 (千伏)	变 电 站 容 量 范 围 (千伏安)	綜 合 投 資
35	2×750及以下	2.81
	2×1000~2×3200	8.80
	2×5600~2×15000	13.00
60	2×1000~2×3200	9.93
	2×5600~2×7500	14.97
	2×10000~2×20000	19.46
110	2×10000及以下	29.72
	2×15000~2×31500	34.20

表 2-47 变电所特殊部分綜合投資表

(单位: 万元)

甲、消弧綫圈

电压 (千伏)	消 弧 綫 圈 型 号	綜 合 投 資
6	XDJ-175/6	0.43
	XDJ-350/6	0.70
	XDJ-700/6	0.87
	XDJ-1400/6	1.35
10	XDJ-300/10	0.70
	XDJ-600/10	0.86
	XDJ-1200/10	1.61
35	XDJ-275/35	0.79
	XDJ-550/35	1.26
	XDJ-1100/35	1.42
	XDJ-2200/35	2.06
60	XDJ-950/60	3.41
	XDJ-1900/60	4.28
	XDJ-3800/60	5.05

乙、6~10千伏电容器

电压 (千伏)	电容器裝設容量(千乏)	綜 合 投 資
6	3000	10.62
	7500	26.21
	15000	52.19
10	3000	12.10
	7500	29.91
	15000	59.60

丙、同期調相機每千乏綜合投資表

同期調相機型号及容量(千乏)	单位綜合投資(元/千乏)
2× KC-15000	81.3
2× KC-30000	71.0
2× KC-75000	61.7

表 2-48 6~10千伏柱上变压器綜合投資表

变压器型号	数 量	单 位	变压器本体价格 (元)		綜合投資(万元)	
			6 千 伏	10 千 伏	屋外配电站	柱上变压器
SJ-5/6~10	1	台	840	882		0.13
SJ-10/6~10	1	"	1040	1092		0.16
SJ-15/6~10	1	"		1260		0.18
SJ-20/6~10	1	"	1200	1260		0.18
SJ-25/6~10	1	"		1470		0.22
SJ-30/6~10	1	"	1560	1638		0.24
SJ-40/6~10	1	"		1858		0.27
SJ-50/6~10	1	"	1920	2016	0.25	0.29
SJ-75/6~10	1	"	2520	2650	0.33	0.37
SJ-100/6~10	1	"	2800	2940	0.41	0.40
SJ-150/6~10	1	"		3767	0.51	0.51
SJ-180/6~10	1	"	4000	4200	0.57	0.57
SJ-200/6~10	1	"		4419	0.60	0.59
SJ-240/6~10	1	"	4865	5150	0.71	0.68
SJ-300/6~10	1	"		5596	0.76	0.73
SJ-320/6~10	1	"	5840	6132	0.81	0.80
SJ-560/6~10	1	"	7000	9000	1.24	
SJ-750/6~10	1	"		11560	1.50	
SJ-1000/6~10	1	"		14800	1.88	

注: 1. 由于 6 千伏与 10 千伏变压器本体价格相差甚小, 因此在綜合投資中不計其差別。

2. 上述指标中包括了变压器設備、变压器杆塔、瓷瓶鉄件、跌落式保險器、防雷保护間隙以及安裝材料运输等費用。

(2) 变电所新建工程主要材料消耗

1) 变电所新建工程主要材料消耗的组成与包括内容和前节相同。

2) 变电所新建工程分项目主要材料消耗表

表 2-49 主变压器主要材料消耗表

电 压 (千伏)	变压器型号	数 量	单 位	主要材料消耗(木材:米 ³ , 其它:吨)					
				钢材	硅钢片	铜	铝	水泥	木材
35/6~10	SJ-320	1	台						
	SJ-560	1	台						
	SJ-750	1	台						
	SJ-1000	1	台						
	SJ-1800	1	台	2.95	2.51	0.66	0.04	2.12	0.35
	SJ-3200	1	台	5.27	3.67	0.94	0.09	2.29	0.38
	SJ-5600	1	台	9.20	5.46	1.00	0.17	2.29	0.38
	SJ-7500	1	台	9.73	6.53	1.63	0.18	2.49	0.40
60/6~10	SJ-1000	1	台						
	SJ-18000	1	台	5.83	3.26	0.68	0.04	4.20	0.91
	SJ-3200	1	台						
	SJ-5600	1	台						
	SJ-7500	1	台						
	SJ-10000	1	台						
110/6~10	SFL-5600	1	台						
	SFL-7500	1	台						
	SFL-10000	1	台	15.57	10.53	2.30	0.16	5.91	1.03
	SFL-15000	1	台	18.56	13.87	2.78	0.16	6.37	1.07
	SFL-20000	1	台	21.48	18.06	3.57	0.31	6.37	1.07
1110/35/ 6~10	SFSL-5600	1	台						
	SFSL-7500	1	台	18.75	12.00	2.94	0.27	9.91	1.89
	SFSL-10000	1	台	18.29	12.80	4.00	0.26	9.91	1.89
	SFSL-15000	1	台	23.59	21.31	4.15	0.46	10.19	1.98
	SFSL-20000	1	台	32.27	23.00	7.18	0.64	10.19	1.98

电 压 (千伏)	遮 断 器 型 号	单 母 线 (无)										
		双卷变压器进线					三卷变压器进线					钢材
		钢材	铜	铝	水泥	木材	钢材	铜	铝	水泥	木材	
35	SW1-35/600A 400MBA	1.67	0.13	0.05	1.75	0.96	1.91	0.20	0.05	2.01	1.02	1.93
35	DW2-35/600 750	3.37	0.28	0.04	1.75	0.96	3.61	0.35	0.04	2.01	1.02	3.63
60	DW1-60G/1200 1000	8.22	0.47	0.06	4.01	1.47	8.60	0.50	0.06	4.67	1.62	8.78
110	SW1-110/600 2500	7.20	0.36	0.05	8.87	1.35	7.76	0.42	0.05	10.1	1.45	8.08
110	DW3-110/600 2500	15.47	0.66	0.12	8.31	1.28	16.04	0.71	0.12	9.74	1.38	16.35

电 压 (千伏)	遮 断 器 型 号	双 母 线 (无)										
		双卷变压器进线					三卷变压器进线					钢材
		钢材	铜	铝	水泥	木材	钢材	铜	铝	水泥	木材	
35	SW1-35/600A 400MBA	3.1	0.18	0.13	2.88	1.28	3.32	0.19	0.13	3.14	1.34	3.33
35	DW2-35/600 750	4.8	0.34	0.12	2.88	1.28	5.02	0.35	0.12	3.14	1.34	5.03
60	DW1-60G/1200 1000	9.62	0.49	0.14	7.39	2.35	10.0	0.52	0.14	8.05	2.5	10.18
110	SW1-110/600 2500	9.15	0.42	0.18	12.78	2.21	9.72	0.41	0.18	14.21	2.31	10.43
110	DW3-110/600 2500	17.14	0.66	0.26	12.54	2.17	17.71	0.71	0.26	13.97	2.27	18.02

电压
(千伏)

35~10

电压
(千伏)

35 35

2-50 35~110 千伏屋外配电装置遮断器间隔主要材料消耗表
(单位: 木材: 米³, 其它: 吨)

旁路母綫				单母綫 (有旁路母綫)																								桥型接綫									
电綫				母綫分段				双(三)卷变压器进綫					饋电綫					旁路					内桥(三个間隔)					外桥(三个間隔)									
鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材					
0.05	1.97	1.01	1.95	0.22	0.05	1.69	0.92	2.48	0.15	0.14	3.17	1.37	2.27	0.20	0.09	2.55	0.6	1.63	0.15	0.08	1.45	0.86	6.56	0.55	0.23	8.33	3.76	6.11	0.50	0.29	7.81	3.64					
0.04	1.97	1.01	3.65	0.37	0.04	1.69	0.92	4.18	0.31	0.13	3.17	1.37	3.98	0.35	0.08	2.55	0.6	3.33	0.30	0.07	1.45	0.86	11.67	1.00	0.21	8.33	3.76	10.22	0.95	0.27	7.81	3.64					
0.25	4.67	1.62	9.20	0.50	0.22	6.06	1.96	10.00	0.52	0.16	8.05	2.5	9.45	0.56	0.11	6.0	1.97	8.3	0.54	0.10	3.35	1.32	28.86	12.8	0.28	22.24	6.94	27.74	12.21	0.34	20.22	6.46					
0.05	10.1	1.45	9.57	0.51	0.02	13.10	2.06	10.45	0.48	0.18	15.69	2.45	8.54	0.57	0.11	12.36	1.77	6.74	0.46	0.09	7.00	1.10	28.28	1.64	0.24	42.02	6.35	26.85	1.35	0.31	38.62	6.00					
0.13	9.74	1.38	17.85	0.81	0.10	12.83	1.96	18.73	0.77	0.26	15.33	2.38	17.4	0.87	0.18	12.0	1.70	15.02	0.75	0.17	6.64	1.03	53.44	1.90	0.22	41.74	6.28	51.95	2.23	0.54	38.17	5.90					

表2-51 35~110千伏屋外配电装置遮断器间隔主要材料消耗表
(单位: 木材: 米³, 其它: 吨)

旁 路 母 綫									双 母 綫 (有 旁 路 母 綫)																			
电 綫				母 联					双(三)卷变压器进綫					饋 电 綫					母 联					旁 路				
鋁	水泥	木材		鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材
0.13	3.14	1.34		3.14	0.2	0.13	2.88	1.28	3.77	0.2	0.27	4.34	1.70	3.57	0.25	0.2	3.72	1.50	3.92	0.22	0.29	4.34	1.7	3.32	0.2	0.18	3.72	1.5
0.12	3.14	1.34		4.84	0.35	0.12	2.88	1.28	5.48	0.36	0.26	4.34	1.70	5.27	0.40	0.19	3.72	1.50	5.63	0.37	0.29	4.34	1.7	5.02	0.35	0.17	3.72	1.5
0.15	8.05	2.5		9.78	0.49	0.13	7.39	2.35	11.41	0.57	0.32	11.43	3.37	10.86	0.59	0.22	9.38	2.84	11.57	0.59	0.35	11.43	3.37	10.08	0.54	0.2	8.06	2.54
0.19	14.21	2.31		9.17	0.51	0.16	12.78	2.21	12.29	0.59	0.46	19.54	4.22	11.08	0.63	0.30	16.45	3.60	12.75	0.63	0.5	19.90	4.31	10.28	0.51	0.27	14.31	2.62
0.27	13.97	2.27		17.84	0.81	0.24	12.54	2.17	19.97	0.77	0.54	19.26	3.14	19.12	0.87	0.54	16.17	2.52	26.07	0.92	0.57	19.5	3.2	18.81	0.81	0.34	15.34	2.57

(2) 变电所新建工程主要材料消耗

表 2-52 6~10千伏屋内配电装置遮断器间隔主要材料消耗表
(单位: 木材, 米³; 其它, 吨)

电压 (千伏)	遮断器型号	单层单列单母线						单层单列双母线					
		进			母线			进			母线		
		钢材	铜	铝	水泥	木材	钢材	铜	铝	水泥	木材	钢材	铜
3~10	SN1-10/600A200MBA						0.46	0.03	0.05	0.89	0.08	0.51	0.08
	SN2-10/600 350						0.46	0.03	0.05	0.89	0.08	0.51	0.08
	SN2-10/1000 350						0.53	0.05	0.05	0.89	0.08	0.61	0.11
	SN3-10/2000 500	1.44	0.12	0.17	0.89	0.08					1.60	0.24	0.21

表 2-53 35千伏屋内配电装置遮断器间隔主要材料消耗表
(单位: 木材, 米³; 其它, 吨)

电压 (千伏)	遮断器型号	单层单列单母线						单层单列双母线					
		进			母线			进			母线		
		钢材	铜	铝	水泥	木材	钢材	铜	铝	水泥	木材	钢材	铜
35	DW2-35/600A, 750MBA	3.55	0.25	0.08	4.22	0.7	3.64	0.25	0.12	4.22	0.7	3.79	0.26
35	DW2-35/1000, 1000	3.72	0.25	0.08	4.22	0.7	4.01	0.26	0.12	4.22	0.7	3.94	0.29

表 2-54 6~10千伏屋内配电装置断路器间隔主要材料消耗表

(单位: 木材, 米³, 其它, 吨)

电 压 (千伏)	断 路 器 型 号	三 层 双 列 双 母 綫									
		进 綫					电 纜 絞 綫 (带 电 抗 器)				
		鋼 材	銅	鋁	水 泥	木 材	鋼 材	銅	鋁	水 泥	木 材
6~10	SN1-10/600A 200MBA						1.18	0.08	1.39	4.93	0.72
	SN2-10/600 350						1.18	0.08	1.39	4.93	0.72
	SN2-10/1000 350						1.32	0.11	2.09	5.00	0.72
	SN3-10/2000 500	2.4	0.26	0.32	3.10	0.72				3.35	0.31
	SN3-10/3000 500	3.09	0.37	0.33	3.10	0.72				3.77	0.32
	SN4-10/4000 1500	4.89	0.24	0.29	3.73	0.92				5.69	0.26
										8.84	1.44
										8.75	1.44
										8.90	1.44

表 2-55 35千伏屋内配电装置断路器间隔主要材料消耗表

(单位: 木材, 米³, 其它, 吨)

电 压 (千伏)	断 路 器 型 号	母 綫 架 空 綫									
		进 綫					母 綫 联 絡				
		鋼 材	銅	鋁	水 泥	木 材	鋼 材	銅	鋁	水 泥	木 材
35	DW2-35/600A 750MBA	3.65	0.25	0.08	4.22	0.7	3.85	0.25	0.13	4.22	0.7
35	DW2-35/1000 1000	3.87	0.26	0.13	4.22	0.7	4.02	0.26	0.13	4.22	0.7
										0.14	4.22
										0.14	4.22
										0.30	4.22
										0.14	4.22
										0.14	4.22

表 2-56 电压互感器及避雷器间隔主要材料消耗表

电 压 (千伏)	电压互感器、避雷器 間 隔 形 式	主要材料消耗 (木材: 米 ³ , 其他: 吨)				
		鋼 材	銅	鋁	水 泥	木 材
屋內配电裝置						
10	单层单列单母綫間隔	0.34	0.02	0.02	1.05	0.11
	单层单列双母綫間隔	0.34	0.02	0.04	1.05	0.11
	三层双列双母綫間隔	1.28	0.02	0.14	1.05	0.72
35	双层单列单母綫間隔	0.91	0.08	0.04	2.23	0.46
	双层单列双母綫間隔	0.97	0.08	0.10	4.22	0.69
屋外配电裝置						
35	电压互感器及避雷器間隔	1.42	0.16	0.02	0.83	0.18
60	电压互感器及避雷器間隔	3.05	0.30	0.02	1.50	0.32
110	电压互感器及避雷器間隔	3.80	0.36	0.03	2.27	0.27

表 2-57 变电所固定部分主要材料消耗表

(单位: 木材, 米³, 其它, 吨)

电压級 (千伏)	变 电 站 容 量 范 围 (千伏安)	固 定 部 分 主 要 材 料 消 耗			
		鋼 材	銅	水 泥	木 材
35	2×750及以下				
	2×1000~2×3200	16.6	0.26	29.94	11.64
	2×5600~2×15000	22.32	0.46	49.43	14.10
60	2×1000~2×3200	16.6	0.26	29.94	11.64
	2×5600~2×7500	22.4	0.48	62.52	16.39
	2×10000~2×20000	38.19	0.66	86.72	31.09
110	2×10000及以下	46.66	1.15	121.96	44.73
	2×15000~2×20000	53.97	1.31	138.56	55.43

表 2-58 变电所特殊部分主要材料消耗表

(单位: 木材, 米³; 其他, 吨)

甲、消弧线圈

电 压 (千伏)	消弧线圈型号	主 要 材 料 消 耗				
		鋼 材	銅	鋁	水 泥	木 材
6	XDJ-175/6					
	XDJ-350/6					
	XDJ-700/6					
	XDJ-1400/6					
10	XDJ-300/10					
	XDJ-600/10					
	XDJ-1200/10					
35	XDJ-275/35	0.82	0.09		1.7	0.2
	XDJ-550/35	1.23	0.14		2.0	0.23
	XDJ-1100/35	1.77	0.2		2.2	0.26
	XDJ-2200/35	2.77	0.3		2.6	0.28
60	XDJ-950/60	3.31	0.4		3.0	0.33
	XDJ-1900/60	4.24	0.5		3.5	0.4
	XDJ-3800/60	5.94	0.67		4.0	0.45

乙、6~10千伏电容器

电 压 (千伏)	电容器装置容量 (千乏)	主 要 材 料 消 耗				
		鋼 材	銅	鋁	水 泥	木 材
6	3000	6.23		1.54	11.2	1.26
	7500	15.06		3.83	28	3.15
	15000	29.93		7.63	56	6.3
10	3000	6.15		1.53	11.2	1.26
	7500	15.08		3.8	28	3.15
	15000	29.96		7.6	56	6.3

(3) 变电所的年运行费计算

变电所的年运行费用, 应包括一年中所消耗的电能损失, 生产管理, 运行维护, 固定资产的折旧及其它等费用。

变电所的年运行费用的计算可用下式表示:

$$F_{b,d} = \alpha_{z,h} \cdot Z_{b,d} + F_{d,n} \quad (2-6)$$

式中 $F_{b,d}$ ——变电所的年运行费;

$Z_{b,d}$ ——变电所的综合投资;

$\alpha_{z,h}$ ——变电所的折旧维护率(见表2-19);

$F_{d,n}$ ——变电所的年电能损耗费。

(4) 变电所综合经济指标编制的依据

1) 设备价格系按1962年一机部产品价格计算的, 并考虑5%的运杂费。

2) 安装定额系按电力建设总局1962年出版的电气设备安装价目表计算。安装间接费已计入在安装费中, 为工资的1.5倍。

3) 材料价格是按1962年北京地区材料预算价格及电力建设总局出版的“变电工程建设预算综合指标”的标准计算的。

4) 土建费, 一般建筑取费标准范围为14~20元/立方米, 屋外架构按“变电工程建设预算综合指标”中费用标准计算, 土建间接费以上述资料的21.6%计算。

5) 材料消耗指标主要依据, 为由一机部搜集来的资料及计算得出。

第三章 农村电力负荷的计算

3-1 概 述

农村电力负荷是编制农村供电规划的基础，它对电力网的连接方式、设备参数的选择具有很大的影响。例如，某一变电所供2000亩土地的灌溉用电，如果在当地的具体情况下，每瓩负荷能灌溉85亩，但在预测负荷时，误估为60亩，则该变电所的计算负荷就从23.5瓩变成33.4瓩，这样就需要选择50千伏安的变压器来代替能满足实际需要的30千伏安变压器，不仅浪费了投资，也增加了供电成本。当然，在编制供电规划中，个别的负荷有所出入，一般影响不大，可以在具体工程的建设中予以修正。但是大多数的负荷估算得不正确时，就不只是影响恰当地选择变压器容量，而是对整个地区电力网的结构、电压和导线截面的选择，甚至对电源的布局都会产生很大的影响，其结果不是造成资金、设备的浪费或积压，就是阻碍电力网的进一步发展；因此有必要准确地估计负荷水平。当然，负荷是年年变化的，预计和实际之间总有一些出入，对负荷的第三位甚至第四位数字，也去细致分析是完全没有必要的。通常需要准确估算的是当地在一定时间内的负荷水平。负荷水平准确了，即使预计负荷的到达时间与实际到达时间相差一年半载，也不会影响农村电力网的建设及其发展。

3-2 编制电力负荷规划的基本条件

在编制电力负荷之前，需要解决三个问题。1)在规划地区内究竟有哪些电力用户，什么时候开始用电；2)用户的用电定额是多少；3)以规划期间的哪一年的负荷作为计算根据。这三个问题特别是前二个问题解决得不好，就会使计算出来的电力负荷不能

反映实际情况，使供电规划缺少可靠的依据。

农村供电一般是在农田水利规划的基础上进行规划的，有了农田水利规划就可以部分地解决第一个问题。但是全面的解决这个问题，还必须到有关计划部门了解本地区工农业的发展情况。此外，供电规划对人民公社的经济发展有着很大的作用，因此，了解他们的要求和看法，并适当的满足其中合理的又可能办到的部分也是必要的。

第二个问题虽然可以参考典型定额（例如本章中所列典型定额）加以解决，但是由于：1)全国各地自然条件及耕作方法相差悬殊；2)目前农村电气化水平不高；3)对于典型定额的调查研究工作做得不够，这些典型定额的作用是有限的。因此在规划过程中，对本地区或自然条件、耕作方式与本区类似的邻近地区内已经电气化的地方进行调查分析，选取适当的定额是非常必要的。如果没有适当的资料，也可采用典型定额作些估算。

至于供电规划的年限，不宜太长；太长了，变化的因素就增多，负荷的预测不容易准确；太短了，对设备的选择和使用也存在困难。一般以5年左右比较合适。

3-3 农村电力负荷的特点

由于农业生产和工业生产的条件不同，农村电力负荷和工业负荷的特点也有显著的差别。在编制农村供电规划的时候，需要认真研究这些特点，才能编制出适合农村需要的供电方案，避免机械地抄袭工业中采用的各种标准，一般说来农村电力负荷具有下列特点：

1. 季节性

与工业负荷不同，农村负荷绝大部分集中在夏、秋二季，由于受到气候的影响，高峰负荷出现的时候也是经常变化的。特别是排涝负荷，完全决定于暴风雨来临的时刻，它的季节性最强。

农村负荷的季节性对电源容量的选择, 电力网的运行方式带来很大的影响, 在规划中需要认真考虑。

2. 地区性

我国地区广大, 各地气象条件、地理情况和耕作方式都有显著差别, 即使在同一地区, 也因自然条件不同, 对电力负荷有很大的影响。在计算负荷、研究供电方式时必须注意这些特点。

3. 负荷密度低

目前农村电气化水平不高, 用电设备也不可能象工业那样集中, 而是分散在大片农田上或乡镇中, 因此农村负荷密度较低, 一般只有 $10 \sim 30$ 瓩/公里², 但是工业负荷密度常常达到几千瓩/公里²。负荷密度低, 送变电的投资相对地要增加, 因此仔细地研究农村电力网的电压和接线方式, 降低电力网的造价是有重要意义的。

4. 利用小时少

一般农村综合负荷利用小时约为 $1500 \sim 2000$ 小时(对电动机而言, 往往只有几百小时), 而工业综合负荷利用小时约为 $4000 \sim 6000$ 小时。因此, 农村电气设备的利用率较低, 这对设备的选择有很大的影响, 在作经济比较时必须注意到这个特点。

5. 供电可靠性的要求与工业不同 (这里主要是指排灌负荷)

一方面排灌负荷不象工业中一级负荷那样不能片刻停电, 从这一点上说, 灌溉负荷对供电可靠性的要求是较低的; 另一方面, 由于农业生产的时间性很强, 因此不允许长期停电。例如排涝站, 如果在暴风雨后 $3 \sim 5$ 天内不把水排尽, 庄稼就会淹死。对于灌溉站, 如果误了农时, 就会引起严重减产, 不象工业那样只有停电那几天受到损失。从这一点上讲, 排灌负荷对供电的要求

是高的, 因此在电源的建设上, 考虑电网建设标准及运行时都需要顾及这些问题。

6. 功率因数低

农村用电设备主要是容量较小的感应电动机, 加以配套不尽合理, 安装地点又极分散, 通常没有装设无功补偿设备, 功率因数一般低至 $0.6 \sim 0.7$, 个别情况比这个数字更低, 这对电网的电压水平和功率损失影响颇大。

以上特点, 在作农村供电规划时是需要加以注意的。

3-4 农村用户有功电力负荷的计算

1. 排灌负荷的计算

计算排灌负荷通常采用下列二种方法:

(1) 已知排灌站的流量和扬程, 利用下列公式求它的负荷:

$$P = 9.81 \frac{QH}{\eta} \text{ 瓩}, \quad (3-1)$$

式中 Q ——流量(米³/秒, 即方/秒);

H ——总扬程(包括损失扬程), (米);

η ——水泵、电动机及传动装置的总效率, 对于单级水泵, 其值约为 $0.5 \sim 0.75$ 。

例: $10''$ 丰产24型水泵, 当总扬程为 7.8 米时其流量为 700 吨/时, 其负荷求法如下:

1) 先将 700 吨/时, 化成米³/秒。因为 1 吨水约等于 1 米³, 1 小时等于 3600 秒, 故 700 吨/时 $= \frac{700}{3600}$ 米³/秒;

2) 水泵效率约 0.70 , 电动机效率约 0.89 , 总效率以 0.6 计算;

3) 代入计算公式求得负荷为

$$P = 9.81 \frac{\frac{700}{3600} \times 7.8}{0.6} = 24.8 \text{ 瓩}.$$

表 3-1 排灌站

(单位:

$$\text{利用公式 } P = \frac{9.81QH}{\eta}$$

式中: Q ——流量(0.001米³/秒或升/秒),

总扬程 (米) 流量 (升/秒)	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
10	0.1962	0.2354	0.2747	0.3139	0.3532	0.3924	0.4905	0.5886	0.6866	0.7848
12		0.2825	0.3296	0.3767	0.4238	0.4709	0.5886	0.7063	0.8240	0.9418
14			0.3846	0.4395	0.4944	0.5494	0.6867	0.8240	0.9614	1.0987
16				0.5023	0.5657	0.6278	0.7848	0.9418	1.0987	1.2557
18					0.6357	0.7063	0.8829	1.0595	1.2361	1.4126
20						0.7848	0.9810	1.1772	1.3734	1.5696
25							1.2263	1.4715	1.7168	1.9620
30								1.7658	2.0601	2.3544
35									2.4031	2.7464
40										3.1392
45										
50										
55										
60										
65										
70										
75										
80										
85										
90										

注: 1.若扬程为 1.6 米, 流量为 20 升/秒的有功负荷, 表中所对无数值时, 则可

2.如果扬程比表中所列数值大 10 倍, 则查得结果也乘 10 倍, 对流量也作同样

3.上述结果是在 $\eta=0.5$ 的情况下求得的, 如果 η 不等于 0.5 时, 则乘上下

η	0.4	0.45	0.5	0.55
K	1.25	1.11	1.0	0.909

电力负荷计算表

(班)

求有功负荷,

 H ——总扬程(米), η ——总效率

4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
0.8829	0.9810	1.0791	1.1772	1.2753	1.3734	1.4715	1.5696	1.6677	1.7658	1.8639
1.0595	1.1772	1.2949	1.4126	1.5304	1.6481	1.7658	1.8835	2.0012	2.1190	2.2367
1.2361	1.3734	1.5107	1.6481	1.7854	1.9228	2.0601	2.1974	2.3348	2.4721	2.6095
1.4126	1.5696	1.7726	1.8835	2.0405	2.1974	2.3544	2.5114	2.6683	2.8253	2.9822
1.5892	1.7658	1.9424	2.1190	2.2955	2.4721	2.6488	2.8253	3.0019	3.1784	3.3550
1.7658	1.9620	2.1582	2.3544	2.5506	2.7468	2.9430	3.1392	3.3354	3.5316	3.7278
2.2073	2.4525	2.6978	2.9340	3.1883	3.4335	3.6788	3.9240	4.1693	4.4145	4.6598
2.6487	2.9430	3.2373	3.5316	3.8259	4.1202	4.4145	4.7088	5.0031	5.2974	5.5917
3.0898	3.4331	3.7764	4.1197	4.4630	4.8063	5.1496	5.4929	5.8362	6.1795	6.5228
3.5317	3.9241	4.3165	4.7089	5.1013	5.4937	5.8861	6.2785	6.6709	7.0633	7.4557
3.9731	4.4145	4.8560	5.2974	5.7389	6.1803	6.6218	7.0632	7.5047	7.9461	8.3876
	4.9050	5.3955	5.8860	6.3765	6.8670	7.3575	7.8440	8.3385	8.8290	9.3195
		5.9351	6.4746	7.0142	7.5537	8.0933	8.6328	9.1724	9.7119	10.252
			7.0632	7.6518	8.2404	8.8290	9.4176	10.006	10.595	11.183
				8.2895	8.9271	9.5648	10.202	10.840	11.478	12.115
					9.6208	10.308	10.995	10.682	12.370	13.057
						11.036	11.772	12.508	13.244	13.979
							12.557	13.342	14.126	14.911
								14.176	15.009	15.843
									15.892	16.775
										17.707

查扬程 2 米, 流量为 16 升/秒所对之数值 0.6278 班即可。其它类推。

处理。如果和扬程都大 10 倍, 则在查得的结果上乘 100 倍。

列修正系数 K 值即可。

0.6	0.65	0.7	0.75	0.8
0.833	0.769	0.714	0.667	0.625

用这种方法计算出来的负荷比较准确,但需要具体知道排灌站设备的情况。在规划阶段,要详细掌握这些资料是有困难的;不过,如果某一地区的自然情况相差不多的话,只要计算出一、二个排灌站(应有代表性)的负荷和他的排灌面积,利用下面(2)中所述方法,就可推算这一地区的负荷了。

关于水泵特性、流量、扬程等计算资料,可参阅排灌机械配套手册(农业部农田水利局编,农业出版社出版)。

为了方便起见,我们制成了表3-1,在已知流量和扬程的情况下,可以利用它很方便的得到负荷数字。

例:求流量为0.05米³/秒,总扬程为8米,总效率为0.6时,求所需电力负荷。

先查表3-1中总扬程为8米的那一行和流量为0.05米³/秒(即50升/秒)的那一列中交叉点的数字得7.848瓩,当 $\eta=0.6$ 时其修正系数为0.833,故所需电力负荷为 $7.848 \times 0.833 = 6.54$ 瓩。

(2)利用每瓩负荷排灌面积(称用电定额,此处以亩/瓩表示)求负荷,即:

$$P = \frac{M}{D_{p.k}} \text{ 瓩}, \quad (3-2)$$

式中 M ——需要排灌面积(亩);

$D_{p.k}$ ——每瓩负荷排灌面积,(亩/瓩)。

每瓩负荷排灌亩数是从统计数字和典型情况计算得来,是一个平均数字,因此用来求某一个排灌站的负荷时,准确性要差些,但用来求一个较大地区的负荷时,非常方便,也比较准确。

采用本办法来求负荷时,必须注意选取的典型定额和该地区的实际情况相似,否则会引起错误。引起典型定额变化的因素很多,但是对灌溉负荷来说最重要的是总扬程的大小,对排涝负荷来说,主要是暴雨量和在多长时间內排干积水。一般说来,当扬程为6~7米时,每瓩负荷能灌溉70~100亩。至于排涝站,每瓩负荷约能排50~70亩。

2. 农村其他电力负荷的计算

一般有二种计算方法:

(1)利用需用系数求负荷

$$P = \sum_{i=1}^n P_i x_i \text{ 瓩}, \quad (3-3)$$

式中 $\sum_{i=1}^n P_i$ ——用户 n 台电动机额定容量的总和,(瓩);

x_i ——需用系数。

目前还缺乏农村用户需用系数的统计资料,据苏联出版的“工业企业电工手册”的资料,对农副业加工设备,其需用系数在0.28~0.34之间变化,平均为0.31;农村机械修配工业则为0.18~0.27,平均为0.21;农村化学工业为0.17~0.38,平均为0.26;农村生活照明需用系数约在0.75~0.8之间变化,平均为0.8。

(2)利用单位产品耗电定额求负荷

$$P = \frac{C \cdot D}{T} \text{ 瓩}, \quad (3-4)$$

式中 C ——年产品总额;

D ——电量单耗,以单位产品所耗电度表示;

T ——年最大负荷利用小时。

或 $P = L \times d \text{ 瓩}.$

式中 L ——耗电对象数量;

d ——电力单耗,以单位耗电对象所需负荷的瓩数表示。

耗电定额变化幅度很大,目前在这方面的研究统计工作做得很少,因此缺乏完整的准确的资料。表3-2和表3-3列出了从上海郊区等地方收集来的有关农村用电资料。

表 3-2 某些农村电力用户设备容量资料

用电负荷的名称	设备容量
奶牛场	200瓩/1000头
养猪场(1000头左右)	10瓩/1000头
养猪场(3000头以上)	20瓩/1000头
电影院	2瓩/1个
广播站	0.5瓩/1个
照明	5~10瓦/人
磨粉	4.5瓩/生产大队
路灯	0.5~1瓩/公里
一般农机修配厂	100~200瓩/个
年产1000吨氮肥厂	300瓩/个
电犁(60-2型)	7瓩/台(牵引速度1.3米/秒, 耕宽24厘米)
电犁(60-3型)	10瓩/台(牵引速度2米/秒, 耕宽24厘米)

表 3-3 某些农村电力用户电量单耗统计表

用电负荷名称	电量单耗	用电负荷名称	电量单耗
电 犁	3度/亩	块根切断	2.4度/吨
稻麦脱粒	10度/吨	造 纸	200度/吨
谷物扬净	1度/吨	砖 瓦	8度/千块
家禽孵化	0.67度/只	石 灰	16度/吨
碾 米	40度/吨	纺 纱	250度/件
磨 面	30度/吨	织 布	100度/千米
榨 油	130~400度/吨 (前者为花生油, 后者为豆油)	麻 袋	0.4度/条
制 糖	15度/吨	棉花轧花	20度/吨
酿 酒	10度/吨	棉花弹花	50度/吨
干草切割	8度/吨	制 茶	200度/吨
豆饼粉碎	8度/吨	锯 木	15度/立方米
		石棉加工	350度/吨

3-5 农村电力系统和电力网 有功电力负荷的计算

在编制农村供电规划的时候,知道了农村用户负荷以后,尚须求取各变电所及整个系统的负荷,作为确定发送变电容量的根据,这里首先介绍几个概念。

1. 同时系数

不论是求取变电所的负荷,还是整个系统的负荷,它们的计算方法是一样的,不过采用的系数和计算项目略有出入。因此首先介绍一下同时系数这一概念。极大部分电力用户的负荷是随时间变化的。例如排灌站的负荷随着开机停机和扬程的变化而变化,这样就可能出现在同一时间这个用户的负荷处已到最大值,而另一个用户尚未到达它本身最大负荷的时刻,甚至他的部分或全部设备尚未投入运行。因此这两个用户的综合最大负荷可能要比它们各自最大负荷之和稍小一些。用户愈多,这种差别就大一些。在计算中通常用同时系数来表达这种差别。同时系数不仅在计算用电性质不同的用户时采用(例如照明负荷与白天的生产负荷之间,排灌负荷与脱粒负荷之间),而且在计算相同性质的用户负荷时也会出现同时系数。例如在晚上,并不是每一家都把电灯开亮的,有一小部电灯并没有使用。对于排灌站也是一样,并不是所有排灌站天天都开足马力,而且扬程的变化,也不都是一样的。在几个用户之间存在着这种情况,在几个变电站之间、几个电力网之间也都存在着高峰负荷不在同时出现的情况。因此同时系数被广泛采用在电力网负荷的计算中。由于还缺乏完整的农村电力网的运行资料,目前还没有统计出各种情况下同时率的准确数值。根据一些极不完整的资料的初步分析,在农村供电规划中可以采用下列同时系数。

(1)农村专供排涝用或灌溉用的3~10千伏变电所,由于供电范围较小,在计算它的综合负荷时,可以不考虑同时系数。

但是在該变电所的負荷中，生活照明和工业用电占有較大比重，則它的綜合負荷的計算应按各用戶最大負荷錯开情况考虑同时系数。它的数值約为0.85~0.95。

(2)农村电力网中35~60千伏的变电所中6~10千伏变电所之間的同时系数，可以采取以下数值：

排澇負荷之間，同时率取0.85~0.95；

灌溉負荷之間，同时率取0.75~0.85。

(3)如果一个变电所中同时存在排澇負荷和灌溉負荷，应按排澇負荷錯开情况来計算二者的綜合負荷。

2. 网損率和厂用电率

計算电力网的負荷时，除了知道同时系数外，还需知道电力网的有功功率損失和厂用电，后者是用来計算农村电力系統的发点負荷的。

电力网有功功率損失包括綫路上的电力損失和变压器損失两个部分，通常用电力負荷的百分数来表示的称为网損率。它有两种表示方法：一种是用受端的功率作計算基准(即作分母)，它不包括有功功率損失；另一种是用送端的功率作計算基准，即包括有功功率損失。在本手册中采用前一种表示方法。

厂用电用該厂供电負荷作基准的百分数来表示时，称为厂用电率。在本手册中，不采用以发电負荷作基准的表示方法。

网損率和厂用电率的概略数值如表3-4和表3-5所示。

表3-4 各級农村电力网損率
(以各級电网本身最大負荷作基准的百分数表示)

名 称	网 損 率
380伏綫路	4~6
农村 6~10千伏綫路及变压器	6~11
农村35~60千伏綫路及变压器	10~15
110千伏綫路及变压器	5~10

表3-5 一般发电厂厂用电率(以百分数表示)

名 称	厂 用 电 率
凝 汽 式 电 厂	8~10
水 电 站	0.1~1
小型凝汽式电厂	5~6

表中所列数字是指电力損失而言，至于电量損失在一般的电力系統中与电力損失相差不多，但在农村系統中，由于負荷利用小时少，加以管理不善，它比电力損失約大30~100%。

3. 供电負荷和发电負荷的計算

已知用戶負荷和选定了各种系数以后，就可以計算供电負荷和发电負荷了。供电負荷是指一个变电站或某一电力网的綜合最大負荷，它考虑了有功功率損失和負荷錯开情况。其計算公式如下：

$$P_{g,d} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot x_{oi} \cdot (1 + x_{w,i}) \text{ 瓩}, \quad (3-5)$$

式中 $P_{g,d}$ ——供电負荷；

$\sum_{i=1}^n$ —— n 个用戶 (或变电站) 各自最大負荷 的算术和，
(瓩)；

x_{oi} ——同时系数；

$x_{w,i}$ ——网損率。

发电負荷是指由发电机发出的功率，它等于供电負荷加厂用电。其計算公式如下：

$$P_{f,d} = P_{g,d} (1 + x_{o,h,y}) \text{ 瓩}, \quad (3-6)$$

式中 $P_{f,d}$ ——发电負荷；

$x_{o,h,y}$ ——厂用电率。

在供电规划中，是用表格来計算供电負荷和发电負荷，通常用的表格形式如表3-6所示。

表 3-6 ××变电所(电厂或电力系统)
供电负荷或发电负荷计算表

名 称	19××年	19××年	19××年	19××年	19××年	备 注
1.××用户(或变电所)						
2.××用户(或变电所)						
.....						
合 计						
同 时 系 数						
网 损 率						
最大供电负荷						
①厂用电率						
①最大发电负荷						

①需要求发电负荷时才写在表内。

如果需要预计某一地区农业用电量时,可以用供电负荷(或发电负荷)乘以年利用小时即得每年供电量(或发电量)。对于一个地区而言,农村用电综合最大负荷年最大利用小时数约在1500~2000小时左右。

3-6 农村电力负荷曲线

1.农村电力负荷曲线

在规划设计中采用的电力负荷曲线通常有二种:日负荷曲线和年负荷曲线。前者表示一天内每小时负荷变化的情况,后者表示一年内每月最高负荷的变化情况,这种变化在数量上每天每年都是不同的。但是经过仔细分析,可以看出用户负荷的变化常常具有一定的规律。例如照明负荷,总是到傍晚的时候达到它的最大值,在早晨也有一个不大的高峰,其他时间的负荷都很低。典型负荷曲线就是反映用户负荷用电情况变化规律的曲线。图 3-1 至图3-15画出了某城市郊区某些电力用户的日负荷曲线及年负荷曲线作为参考,图3-16是地区农村综合年负荷曲线图。

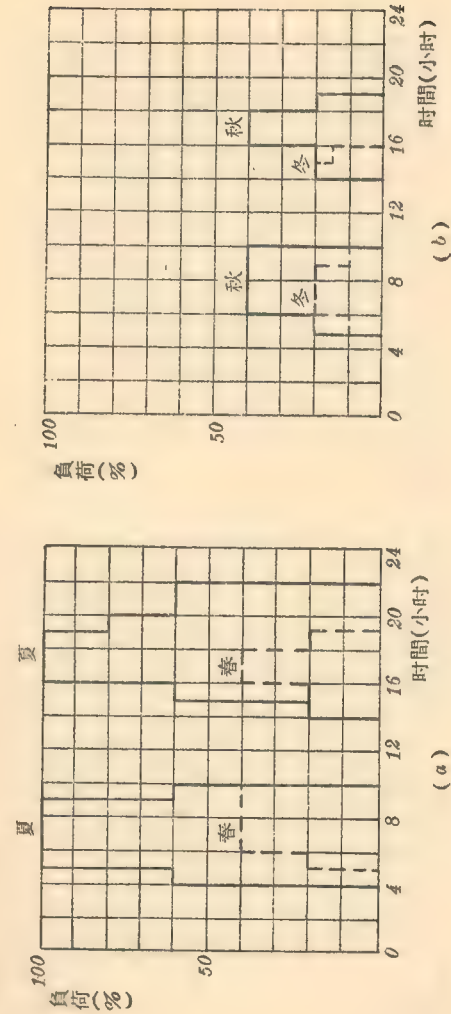


图 3-1 人工降雨日负荷曲线
(a)春、夏季日负荷曲线; (b)秋、冬季日负荷曲线。

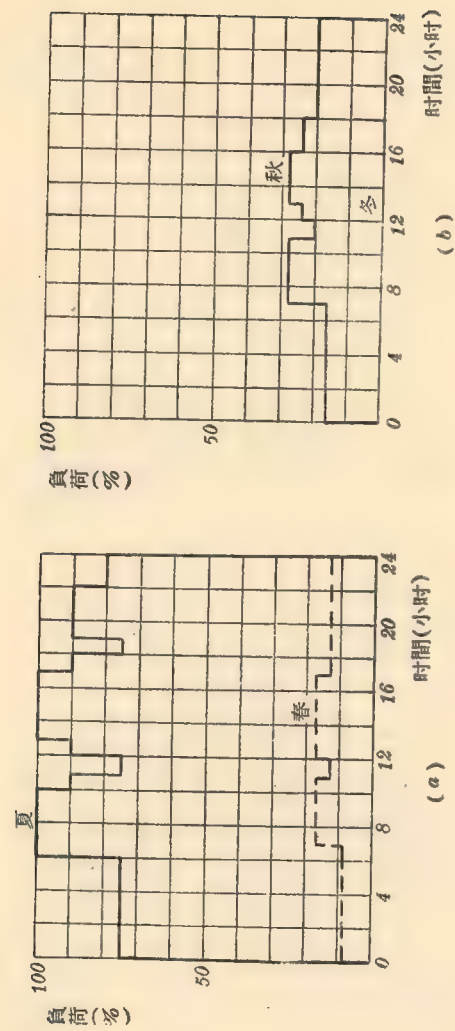


图 3-2 灌溉日負荷曲綫
(a)春、夏季日負荷曲綫; (b)秋、冬季日負荷曲綫。

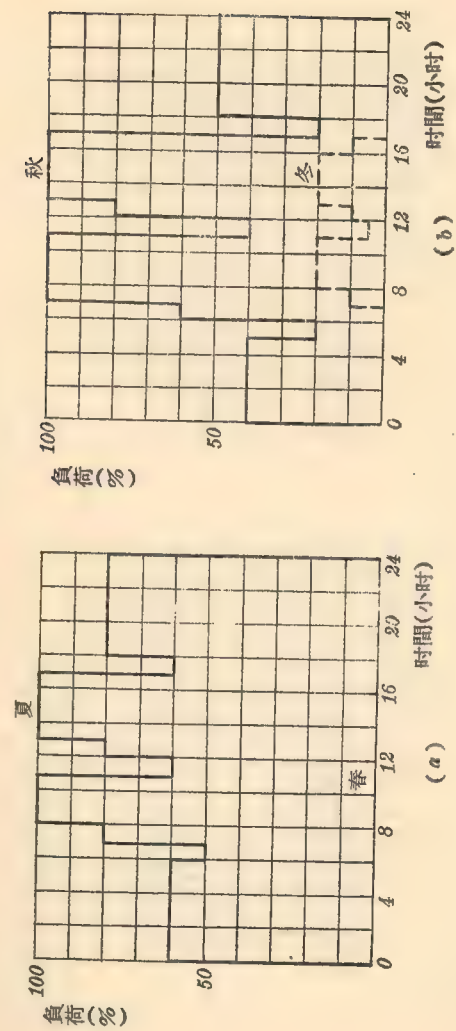


图 3-3 脫粒揚淨日負荷曲綫
(a)春、夏季日負荷曲綫; (b)秋、冬季日負荷曲綫。

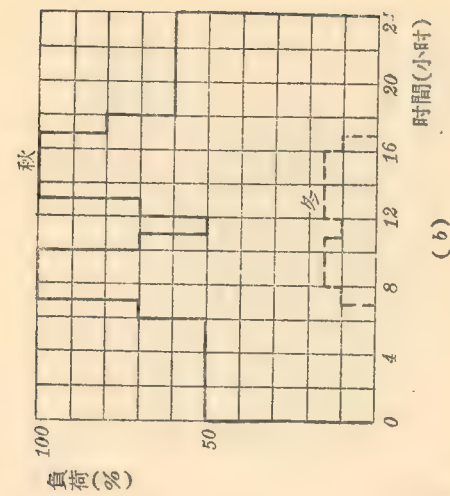
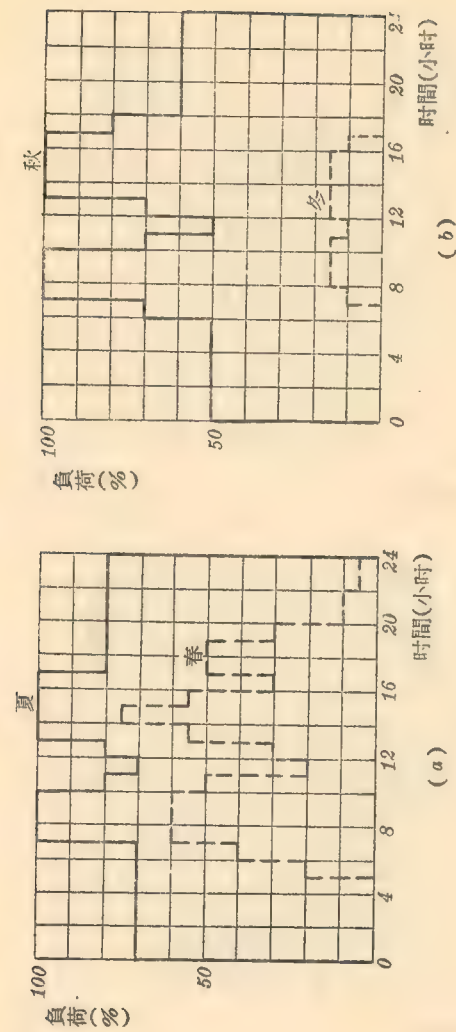


图 3-4 电力耕作日负荷曲线
(a)春、夏季日负荷曲线; (b)秋、冬季日负荷曲线。

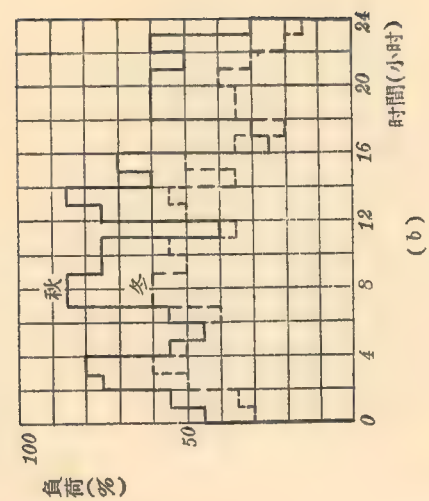
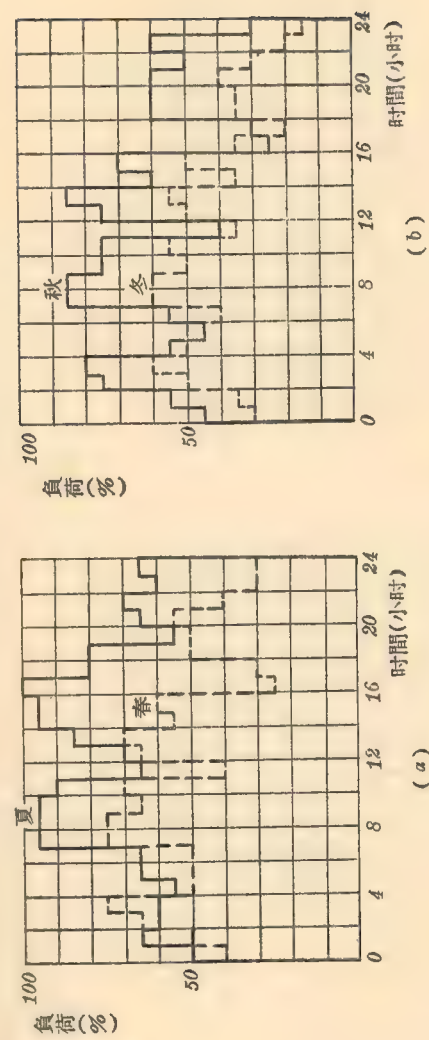


图 3-5 奶牛场日负荷曲线
(a)春、夏季日负荷曲线; (b)秋、冬季日负荷曲线。

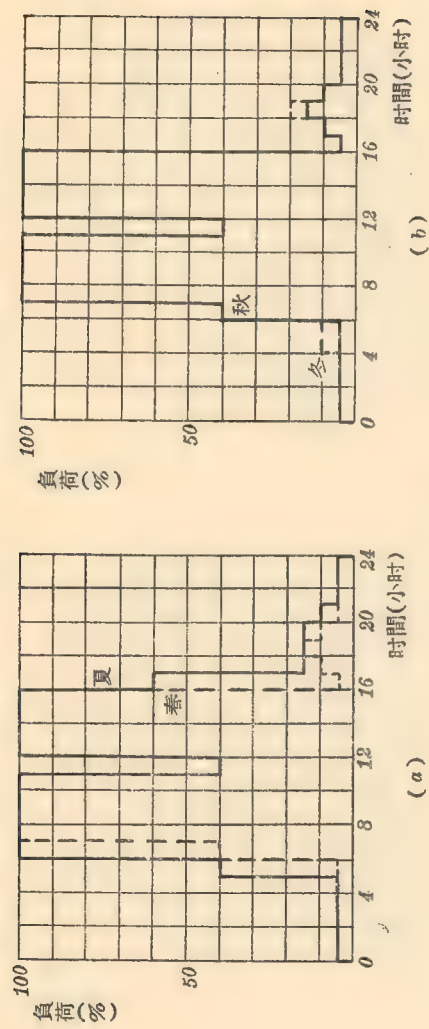


图 3-6 小型养猪场日负荷曲线
(a)春、夏季日负荷曲线; (b)秋、冬季日负荷曲线。

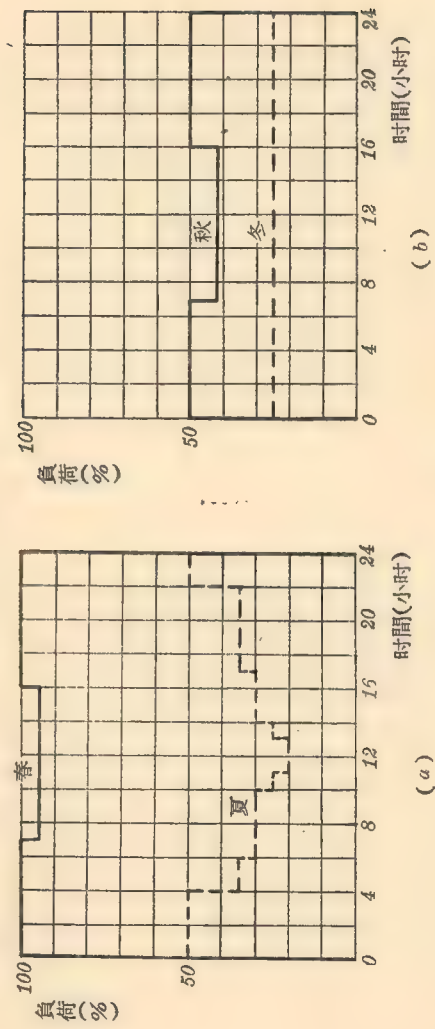


图 3-7 家禽场日负荷曲线
(a)春、夏季日负荷曲线; (b)秋、冬季日负荷曲线。

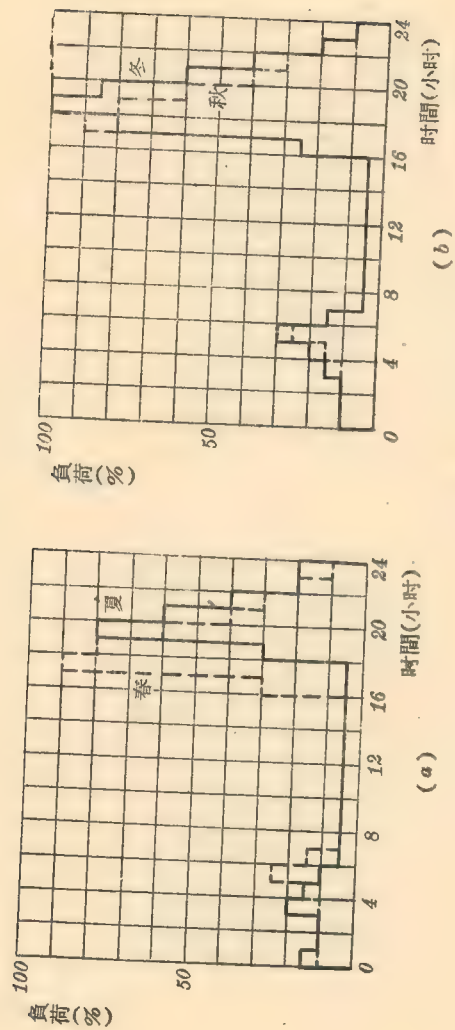


图 3-8 农村照明日负荷曲线
(a)春、夏季日负荷曲线; (b)秋、冬季日负荷曲线。

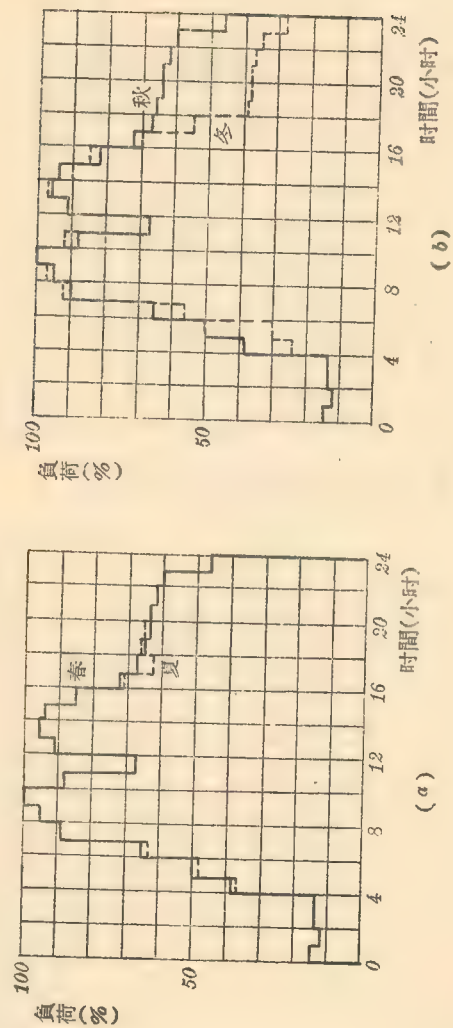


图 3-9 农村工业日负荷曲线
(a)春、夏季日负荷曲线; (b)秋、冬季日负荷曲线。

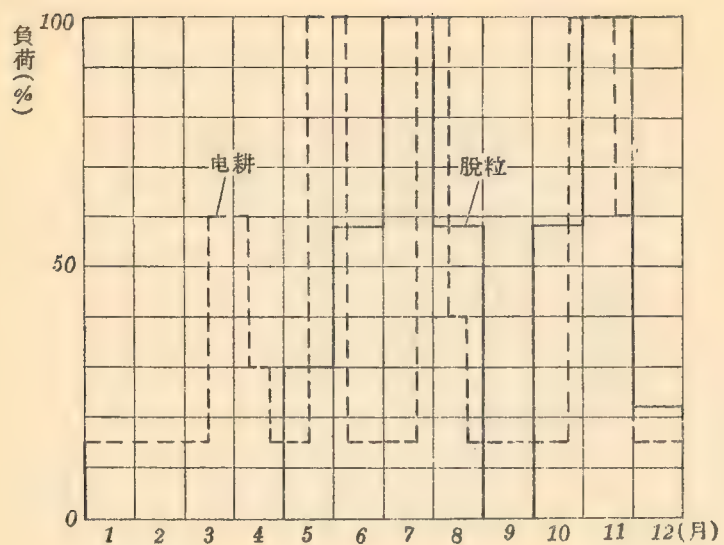


图 3-10 电耕和脱粒年负荷曲线

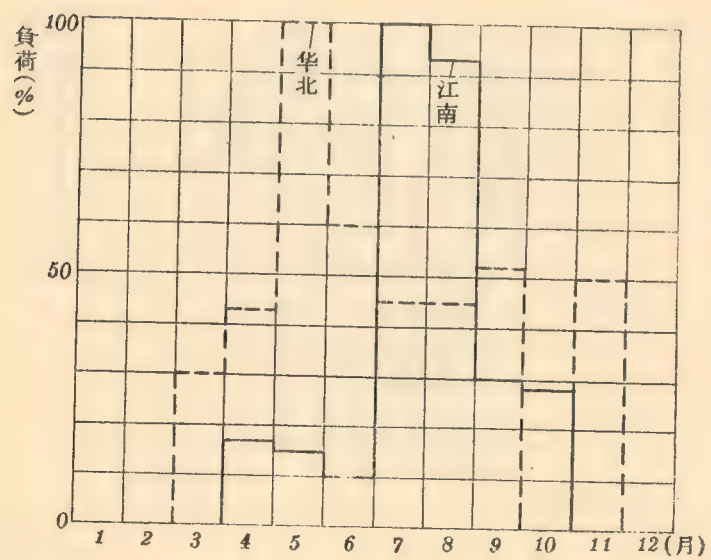


图 3-11 电灌年负荷曲线

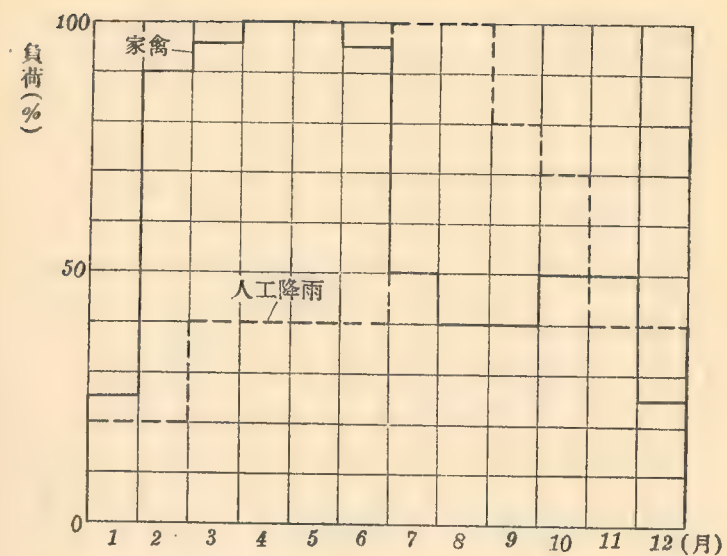


图 3-12 人工降雨及家禽场年负荷曲线

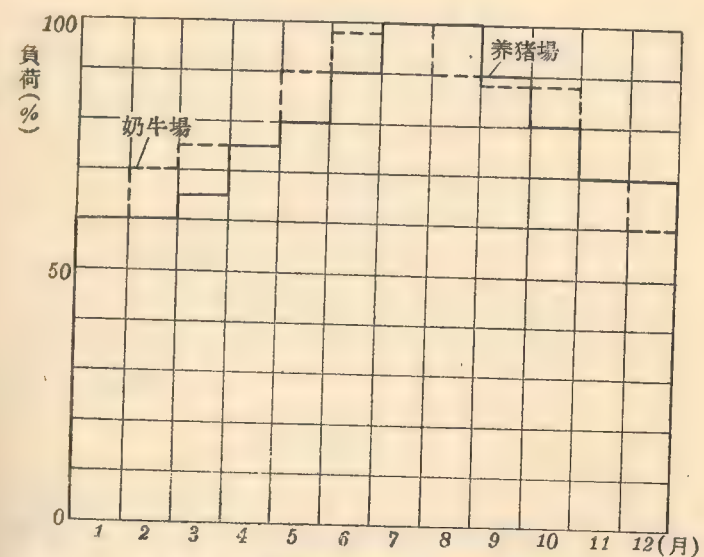


图 3-13 养猪场和奶牛场年负荷曲线

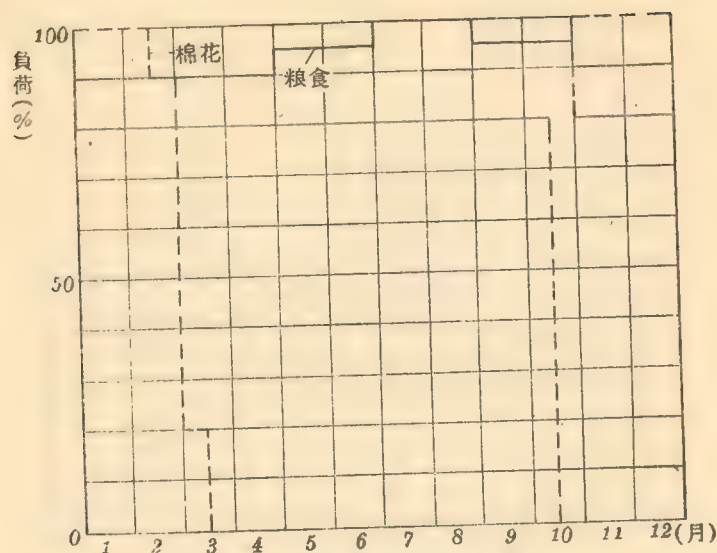


图 3-14 农产品加工年负荷曲线

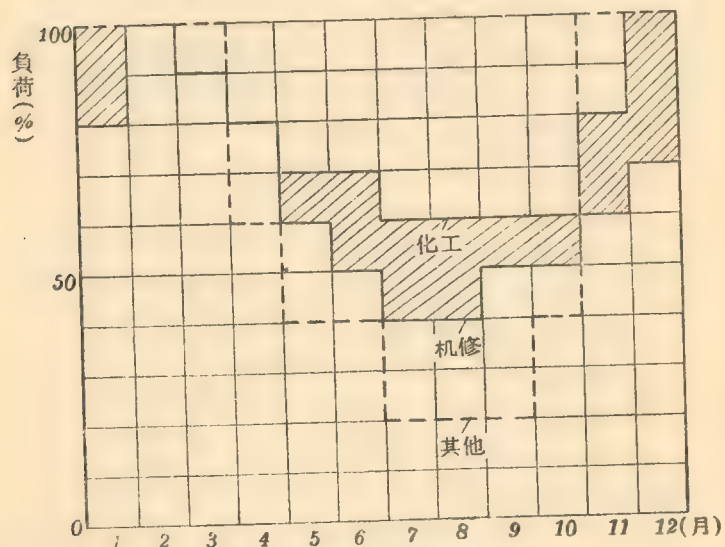


图 3-15 农村工业年负荷曲线

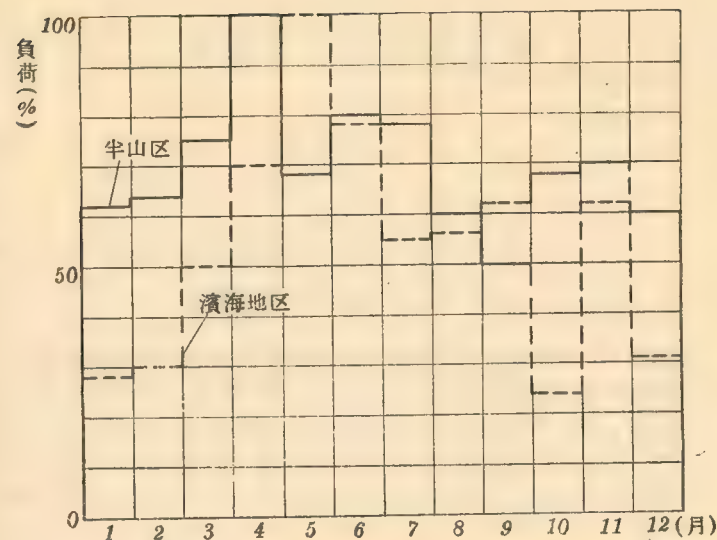


图 3-16 某地区农村综合年负荷曲线

2. 负荷曲线的几个主要指标

在分析负荷曲线的时候，有几个指标值得重视。对日负荷曲线而言，最重要的指标是日负荷率，通常用 γ 表示：

$$\gamma = \frac{P_{p.f}}{P_{z.d}}, \quad (3-7)$$

式中 $P_{p.f}$ ——日平均负荷，它等于日耗电量除以24小时；

$P_{z.d}$ ——日最大负荷。

表 3-7 是农村电力负荷的日负荷率统计数字。

除了日负荷率外，日最小负荷率也是一个重要指标，用 β 表示日最小负荷率，则

$$\beta = \frac{P_{z.x}}{P_{z.d}}, \quad (3-8)$$

式中 $P_{z.x}$ ——日最小负荷。

年负荷曲线有二种：一种是考虑了一年內负荷上涨的因素（称为动态的），它与负荷上升的速度有关；另一种是没有考虑负

荷增加的因素，只是表示一年內因季节影响而引起负荷的变化（称为静态的）。表示年负荷曲线的主要指标是年不均衡率，以 ρ 代表年不均衡率，则

$$\rho = \frac{P_{z.d.n}}{P_{p.j.n}}, \quad (3-9)$$

式中 $P_{z.d.n}$ ——年最大负荷；

$P_{p.j.n}$ ——一年內各月最大负荷的平均值，即一年內各月最大负荷的总和除以12。

表 3-7 石家庄附近农村地区各季度电力负荷的日负荷率(%)

负 荷 名 称	春 季	夏 季	秋 季	冬 季
1.田间作业	53	84	69	33
2.畜牧业	43	45	40	39
3.生活照明	22.2	19.8	22.2	24.2
4.农村用电(包括1~3项)	55	71	69	49
5.农村工业	63	62.5	63	54.5
6.农业综合负荷	—	68	—	53.6

此外，还有一个指标，即月不均衡率，它表示一月內日发电量的变化情况。以 σ 表月不平衡率，则

$$\sigma = \frac{L_{p.j}}{L}, \quad (3-10)$$

式中 $L_{p.j}$ ——全月的平均日发电量；

L ——一月中最大负荷日的发电量。

利用 γ 、 σ 和 ρ 可以求出负荷的年最大利用小时 T ，即

$$T = 8760 \gamma \cdot \sigma \cdot \rho \text{ 小时}.$$

上式仅在各月之 γ 和 σ 相同时才能采用，如果 γ 和 σ 逐月变化，则应先求出 γ 和 σ 之平均值，以 $\gamma_{p.j}$ 和 $\sigma_{p.j}$ 表示它们的平均值，则

$$\gamma_{p.j} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{p.j}}{\sum_{j=1}^{12} P_{z.d}}, \quad (3-11)$$

$$\sigma_{p.j} = \frac{\sum_{j=1}^{12} L_{p.j}}{\sum_{j=1}^{12} L}, \quad (3-12)$$

式中 $\sum_{j=1}^{12} P_{p.j}$ ——12个月中月最大负荷日的日平均负荷的总和；

$\sum_{j=1}^{12} P_{z.d}$ ——12个月中月最大负荷日的最大负荷的总和；

$\sum_{j=1}^{12} L_{p.j}$ ——12个月中全月平均日发电量的总和；

$\sum_{j=1}^{12} L$ ——12个月中月最大负荷日的发电量的总和。

表 3-8 给出了上海郊区电力负荷 $\gamma_{p.j}$ 、 $\sigma_{p.j}$ 和 ρ (静态的) 的数值，以供参考。

表 3-8 上海市郊区电力负荷的几个主要指标

名 称	$\gamma_{p.j}(\%)$	$\sigma_{p.j}(\%)$	ρ (静态的) (%)	T (小时)
电 力 灌 溉	83.5	61.5	24.2	1100
人 工 降 雨	31.3	50	50.7	700
脱 粒 扬 淨	34	51.5	35.8	550
电 力 耕 作	59	55	65	1850
大型养猪場	35.8	90	78.3	2200
小型养猪場	40.8	90	98	3100
奶 牛 場	70	90	80	4400
家 禽 孵 化	92	90	63.3	4600
农村生活照明	24.2	100	90	1800
农村工业	60.8	80	95	4000
农村生产负荷	58	75	59	2280

3. 地区电力负荷曲线的编制

在一般的供电规划中不需要编制负荷曲线，当规划地区水电站的比重较大时，可以根据需要编制供电地区电力负荷曲线，以便比较精确地研究供电地区内的电力电量平衡，水、火电站的装机容量和调压计算。

编制地区综合电力负荷曲线的方法有二种：一种是利用地区现有的负荷曲线，研究它的用电结构（例如分成排灌、农副产品加工、照明等几个部分，求出它们所占百分数），如果以后的用电结构与现在情况相差不多，那么今后负荷曲线的形状就算作和现在是一样的。如果某一部分用电比例变化很大，那么超过原比例关系的那一部分负荷，应按典型曲线画出它的负荷曲线，再和现有曲线相加即得今后该地区综合电力负荷的负荷曲线。用这个方法比较简便省力，而且也较正确。但是必须收集到该地区已有的负荷曲线，而且在用电方式上在所分析的年限不会有很大变化。

另一种编制综合负荷曲线的方法，是把各种用户用电的典型曲线根据它们负荷的大小迭加而成。用这种方法比较费时，而且必须知道有关各类用户的典型负荷曲线。

上述方法是在编制城市及工业负荷曲线时采用的方法，农村电力负荷曲线究竟采用什么办法较好，须要在今后实践中加以解决。

第四章 农村供电电源的选择

4-1 农村供电电源的种类及其特点

农村供电电源的选择，是农村电气化规划中的重要问题之一，如能很好的解决，对保证农村供电安全，节约建设资金，充分利用动力资源，节省燃料和人力、降低成本等具有很大的作用。供电电源的选择，与材料设备的供应、规划地区内能源和交通条件、附近区域电力系统的情况以及农村负荷的大小和特点等，都有密切的关系。所以，供电电源的选择，必须结合规划地区实际情况因地因时制宜地加以解决。

不同的供电电源，具有不同的优缺点，简述如下：

1. 区域电力系统供电

这是现阶段农村的主要供电电源。与农村电站比较，它的供电可靠性较高，供电质量较好，能够适应负荷迅速增长的需要；另外，还有以下经济效益：

(1) 单个机组的容量较大，每瓩造价低（一般为400~700元/瓩，而农村火电站为800~1200元/瓩）；

(2) 火电站的煤耗小（一般为0.5~0.6公斤/度，而农村火电站在1公斤/度以上），管理人员少（一般为8~10人/千瓩，而农村火电站则为50~80人/千瓩），电能成本低（一般发电成本为2~4分/度，而农村火电站的发电成本则为8~15分/度，有的甚至更大）；

(3) 发电设备利用程度高（一般发电设备利用小时为5000~6000小时，而农村火电站则为1500~2500小时）；

(4) 由于农村高峰负荷和系统中高峰负荷可能错开，系统供电可减少装机容量（一般为建设农村电站容量的30~70%）；

(5) 农村负荷季节性大, 高峰多出现在夏、秋两季, 为充分利用系统中水电站的季节性电能创造了条件;

(6) 系统供电一般不受自然条件的限制, 能够迅速地满足农业用电要求 (农村电站常由于地形、地质、水泥、交通和出灰场等问题不易解决, 给农村电厂的建设造成很大困难);

但是, 由于系统供电需要架设较长的高压线路, 有铝消耗较多 (约 4~7 公斤/瓩) 和送变电材料设备消耗较大的缺点, 因而系统供电的经济区域不是无限的, 而是限制在一定的范围之内 (详见本章 4-4 节)。

2. 农村电站供电

我国土地辽阔, 动力资源丰富, 各地地理条件亦有所不同, 如平原地区, 河流较多地区, 及河网化有较大发展的地区。除了电网所及地区可由区域电力系统供电外, 在远离电网的地区, 为满足农村及城镇用电要求, 可根据当地能源 (煤炭、石油、风、气、水能等) 条件, 建设一些小型电站, 特别是结合防洪、灌溉等综合利用建设一些小型水电站。与系统供电比较, 这些小型电站除了都具有靠近负荷、送变电设备和铜铝消耗较少等优点外, 还各有如下特点:

(1) 农村水电站 与小水电站比较, 水电站不用燃料, 管理简便, 维护人员少 (如一台 300 瓩的水电站, 直接生产人员只有 17 人, 而一台 750 瓩的火电站约有 70 人), 发电成本低 (低的只有 1~2 分/度, 高的约有 3~5 分/度, 而小火电站则为 8~15 分/度)。但是, 每瓩的造价比较高 (以发电为主的农村水电站一般是 1500~2000 元/瓩), 土石方工程量较大, 需要劳动力较多, 修建某些农村水电站, 还要造成土地的淹没损失和迁移人口, 同时, 受自然条件的影响较大, 在冰冻期和枯水期或在与灌溉用水有矛盾时, 出力可能减少, 甚至不能发电。为了克服这一缺点, 在有条件的地方应该尽量使它们和火电站联网。

(2) 农村火电厂 一般适宜建在城镇附近和有燃料的地区。

根据不同的燃料, 主要可分为: 燃煤的和燃油的两种火电厂。

1) 燃煤的火电厂 一般只有在利用当地产煤或运煤距离不长的情况下, 建设燃煤的火电厂才是有利的。如果当地缺煤, 需要经过长距离运输时, 将会大大增加发电成本。目前农村运输, 尤其是短途运输的劳动力和工具, 都很缺乏, 运输困难, 费用也很高, 有的农村火电厂到厂煤价甚至达到百余元一吨 (出厂价格只有 30~50 元/吨)。小火电厂的运行管理比较复杂, 发电成本较高 (8~15 分/度), 适应负荷变化的能力亦较差, 是建设小火电厂的不利因素。

2) 燃油的火电厂 其燃料可分为汽油和柴油两种 (汽油低位发热量为 10500 大卡/公斤, 柴油为 10000 大卡/公斤), 一般容量比较小 (100 瓩以下), 目前主要在一些小城镇和工矿企业用得比较多。这种电厂造价比较便宜 (约 400~500 元/瓩), 有色金属和器材消耗较少 (中小型油机每匹马力的体重约 10 多公斤, 而小火电厂每瓩的钢材重量就有 150 公斤), 管理人员少, 运行简便, 可按需要随时启动和停机, 燃料运输费用和电能损失较少。但是, 燃料价格较贵, 运行成本较高, 而且要求较高的运行管理的技术, 所以只有在负荷较小, 远离煤源、交通运输不便的地区和产油的地区, 或作为临时过渡的电源, 才考虑建设这种发电厂。

(3) 风力发电站 这种电站的特点是: 容量小 (大的只有几个瓩, 小的不到一个瓩), 运行人员少, 管理简便, 成本较低。但是, 由于风力时大时小, 电站出力很不稳定。为了克服这一缺点, 提高供电可靠性和减少电压波动, 需要采取蓄能措施 (如利用蓄电池), 而采取这一措施又将大大增加它的造价。所以, 目前除在风力平稳、负荷小而分散、远离区域电力系统且缺乏水力资源的山区或草原地区外, 一般不考虑建立风力发电站。

从我国具体情况来看, 农村供电电源, 应以电网供电为主。即在区域电力系统经济合理的供电范围内, 首先考虑由区域电力系统供电。如考虑建设农村电厂时, 应首先考虑是否有条件建设水电站。如离产煤地不远, 运输便利, 则可考虑建设火电厂。应

該指出, 全国各地情况相差很大, 农村电源的选择最好通过技术经济分析来确定。

4-2 电力平衡

在选择农村供电电源时, 为了确定电力系统的供电容量或农村电站的装机容量, 需要进行该地区的电力平衡, 其格式如表4-1所示。这个表适于从区域电力系统取得电源时作电力平衡之用。如作农村电力系统的电力平衡时, 取消表中(2)、(3)、(4)项即可。

表4-1 ×××电力平衡表
(单位: 瓩)

编号	名称	19××年	19××年	19××年	19××年	19××年	备注
(1)	××供电最大负荷						
(2)	区域电力系统供电最大负荷						
(3)	供电最大负荷总计						(1)+(2)
(4)	同时系数						指(1)与(2)间
(5)	厂用电率						
(6)	发电最大负荷						(3)×(4)
(7)	发电设备工作容量						再加厂用电
	(一)现有发电设备工作容量						
	其中: 水电						
	火电						
	(二)新增发电设备工作容量						
	其中: 水电						
	火电						
(8)	电力盈亏						(7)-(6)
(9)	备用率						(8)÷(6)

在编制电力平衡表时, 需要注意下列几个问题:

(1)农村电力系统一般不考虑事故备用, 检修可安排在非排灌或农闲季节进行, 所以检修备用也可不予考虑。但需要考虑负荷备用, 它的数值一般为发电最大负荷的3~5%。

(2)在选择农村火电厂的单机容量及装机台数时, 要考虑对

供电的连续性和可靠性的要求, 也要考虑负荷季节性变化时或轻负荷时保证机组的稳定运行和机组轻负荷时煤耗的增加。所以一般来说农村电厂最好选用二台(也可二台以上)机组, 但二台机组先后投入运行的时间, 可相隔2~3年。

(3)发电设备工作容量不一定是发电设备的铭牌容量。在电力平衡的计算中, 水电站的工作容量是指水电站设计枯水年某一个月(参加平衡的那一个月的)的工作出力加备用容量。火电厂的工作容量, 当设备不受任何条件限制时, 就是它的设备容量, 否则, 应从设备容量中减去因故不能发电的容量。

(4)农村电力负荷与农村水电站的工作出力, 多数是季节性的, 且可能相互矛盾。此时, 要进行最大负荷月份及水电工作出力最小月份的两种电力平衡。前一种情况可能发生在夏季, 而后一种情况可能发生在冬季。当进行最大负荷月份的电力平衡时, 参加平衡的水电厂的工作出力应按该月份在枯水年的工作出力来计算。

4-3 农村火电厂的厂址选择

选择火电厂的厂址时, 一般需要注意下列问题:

(1)厂址地形, 地质情况, 不受水淹。

地势要平坦, 以减少场地平整工作, 最好有一个不大的自然坡度(约千分之三至五), 以便排除雨水。

地质要好, 一般地耐力大于15吨/平方米较合适。如地基是比较密实的粘性土, 建厂就合适; 反之, 如地基是人工填土, 沼泽土或比较疏松的粘性土, 就不宜建厂, 因为可能发生厂房基础下沉, 甚至遭到破坏。厂址不要选择在矿床上面或有强烈地震的地区。一般地震强度在7度以下较合适。

厂址不能有受水淹的危险, 厂区的地坪要高出洪水位0.5米以上。

(2)厂址要靠近水源, 而且在枯水期, 仍应保证供应电厂用

水。电厂用什么供水方式和冷却系统，是由水源流量大小而定的。如厂址在河边，且该河在枯水期的流量仍然很大，即可采用一次循环的冷却系统；水量较小，可采用二次循环（修建冷却池、喷水池或冷却塔）的冷却系统。如厂址附近没有河流经过，可在厂区打井，取用地下水作为水源，此时只能用二次循环的冷却系统。

(3) 交通运输要方便，因为建设电厂时，要运输设备和建筑材料，建成后要运输煤炭和灰渣，所以厂址应靠近公路、铁路或通航的水道。当电厂容量较大时，亦可考虑修建铁路支线。

(4) 要有合适的灰场，灰场要尽可能不占用农田。

(5) 其他条件：

1) 厂址要尽量靠近负荷中心，特别是热电厂要紧靠热用户，以便减少送电线、供热管道的建设费用和送电、送热损失；

2) 要有引出线路的可能（这在农村一般不会有问题）；

3) 在有燃料地区，要尽量靠近产地，以减少运输费用；

表 4-2 选择火电厂厂址时几个概略的技术数据

火电厂类型	容量	装机台数	装机总容量 (瓩)	用水量(吨/时)		厂区用地 (公顷)	出线走廊宽度 (米)	备注
				一次循环方式	二次循环方式			
凝汽式	750瓩	2	1500	720	50	1~2	10~30	
		4	3000	1440	100	2~3	10~30	
	1500瓩	2	3000	1100	60	2~4	20~50	
		4	6000	2200	120	3~5	20~50	
发电厂	2500瓩	2	5000	1800	90	3~5	20~50	
		4	10000	3600	180	4~6	20~50	
		6	15000	5400	270	5~7	20~50	
	6000瓩	2	12000	2600~3100	200~220	4~6	50~100	
		4	24000	5200~6200	400~440	6~10	50~100	
		6	36000	7800~9300	600~660	10~15	50~100	
	1500瓩	2	3000	37	37	3~6	20~50	供热能力 40吨/小时
	6000瓩	2	12000	1600	200	6~10	50~100	供热能力 100吨/小时

4) 厂址要适当结合城镇规划的发展需要，尽量不使电厂烟囱排出的灰烟，影响城镇卫生，故厂址应选在城镇的下风向。另外还要便于解决电厂职工的生活福利问题。

以上厂址条件，往往是有矛盾的，能满足这个条件，就不能满足那个条件。例如厂址选在靠近燃料基地，常常不能靠近负荷中心；所以，在选择厂址时，一般要对几个厂址方案，进行技术经济比较分析，从中选择最有利的厂址。

选择火电厂厂址时某些技术数据，如表 4-2 所示。

4-4 区域电力系统向农村供电的经济合理范围

区域电力系统向农村供电的经济合理范围，是和系统中电厂每瓩的造价、煤耗、电力系统的发电成本、农村最大负荷与系统最大负荷错开程度，以及农村电厂的造价、进厂煤价等因素有密切的关系。不同的系统，可能有不同的经济合理供电范围，所以对于具体系统向农村供电的经济合理范围，需要因地因时制宜地进行分析比较，加以确定。

1. 作分析比较时，需收集下列资料

(1) 区域电力系统新建及可能的扩建地点，它的电压等级，与农村电力负荷中心的距离。系统中近期扩建电厂的单机容量，每瓩的造价、燃煤的平均低位发热量及煤价（包括运输费），供电成本、发电成本、煤耗、网损率及厂用电率等；

(2) 农村火电厂的燃料来源，煤的低位发热量及到厂价格；

(3) 适合当地情况的技术经济指标，如发送变电的综合投资，各种燃料运输方式及其运输费用；

(4) 农村电力负荷的逐年增长情况，地理分布；

(5) 区域电力系统的负荷和农村负荷在一年内的变化情况；

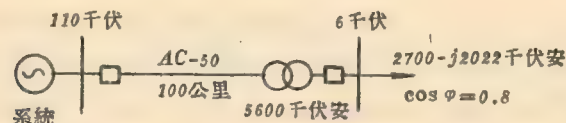
(6) 有关地区的地形图及火电厂厂址资料。

2. 区域电力系统供电和农村火电厂 供电的技术经济比较

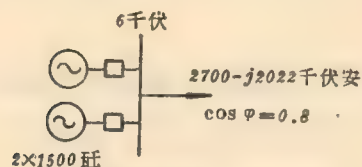
关于技术经济比较的方法，在第二章已作详细介绍，下面将通过一个例子来介绍电源比较的内容和步骤。

例：某地区农业用电为2700瓩(利用小时为2500小时)，主要是排灌用电。该地区距离区域电力系统100公里(指线路长度)，当地亦具备建立火电厂的条件。试问满足该地区用电要求，由区域电力系统供电(第Ⅰ方案)好？还是建立一座农村火电厂(第Ⅱ方案)好？

两供电方案的原则接线如图4-1(只划出不同部分)



第Ⅰ方案



第Ⅱ方案

图4-1

(1) 设备选择 第Ⅱ方案考虑了5%的负荷备用和5%的厂用电后，需要容量达2970瓩，选用了2台1500瓩机组。

在第Ⅰ方案中，由系统供电的容量为3400千伏安(2700瓩、 $\cos\varphi=0.8$)，降压变压器容量选用一台5600千伏安变压器。输电线路的导线截面，由于受电量条件的限制，选用了LG-50(从经济电流密度来看还可以小一些)。

表4-3

序号	计算项目及公式	单位	第Ⅰ方案	第Ⅱ方案
一	投资计算($Z=Z_{f,d}+Z_{s,l}+Z_{b,d}+Z_b$)	万元	246.2	270.9
1. 发电工程:		万元	82.5	270
	$Z_{f,d}=x_{t,sh}\cdot R_{sh,j}\cdot z_{f,d}\cdot 10^{-4}$			
	式中 $x_{t,sh}$ ——农村最大负荷与区域电力系统最大负荷的同时率		0.5	1
	$z_{f,d}$ ——单位瓩装机容量投资	元/瓩	550	900
	$R_{sh,j}=P_{g,d}(1+\alpha_{ch,y}\%+\alpha_{f,b}\%)$			
	——装机容量	瓩	3000	
	式中 $P_{g,d}$ ——供电负荷	瓩	2700	
	$\alpha_{ch,y}\%$ ——厂用电率	%	8	
	$\alpha_{f,b}\%$ ——负荷备用率	%	3	
2. 送电工程: $Z_{s,l}=z_{s,l}\cdot L$		万元	113	
	式中 $z_{s,l}$ ——每公里线路综合投资	万元/公里	1.13	
	L ——线路长度	公里	100	
3. 变电工程: $Z_{b,d}=(z_1+z_2+z_3)(1+z_4)$		万元	47.5	0.94
	式中 z_1 ——变压器本身综合造价	万元	9.45	
	z_2 ——开关间隔综合造价	万元	7.27	0.94
	z_3 ——变电站固定费用	万元	29.7	
	z_4 ——变电站其他费用	%	2.5	
4. 补充发电设备投资 Z_b		万元	3.2	
	$Z_b=z_{f,d}x_{t,sh}\left[\alpha_{dp}P^2L+\left(\frac{P}{W_{e,d}\cos\varphi}\right)^2\cdot\Delta P_{d,l}+\Delta P_{k,s}\right]10^{-4}$			
	式中 α_{dp} ——架空线有功损失系数	瓩/千瓩 ² ·公里	0.093	
	$W_{e,d}$ ——变压器额定容量	千伏安	5600	
	P ——传输功率	千瓩	2.7	
	L ——线路长度	公里	100	
	$\Delta P_{d,l}$ ——变压器短路损失(铜损)	瓩	62.5	
	$\Delta P_{k,s}$ ——变压器空载损失(铁损)	瓩	25.5	
	$\cos\varphi$ ——功率因数		0.8	
二	运行费用($F=F_{sh,j}+F_m+F_{s,l}+F_{b,d}+F_{n,s}$)		34.95	76.0
1. 发电厂折旧维护费 $F_{sh,j}=x_{sh,j}\cdot Z_{f,d}$		万元	7.0	32.4
	式中 $x_{sh,j}$ ——发电厂折旧维护率	%	8.5	12

續表

序号	計算項目及公式	單位	第I方案	第II方案
二	2. 电厂燃煤費 $F_m = L_{f,d} \cdot a_m \cdot J_m \cdot 10^{-7}$	萬元	16	43.5
	式中 $L_{f,d} = R_{f,d} \cdot T$ ——发电量	百萬度	7.3	7.1
	$R_{f,d} = P_{g,d} (1 + \alpha_{ch,y})$ ——发电容量	瓩	2920	2840
	T ——发电負荷利用小时	小时	2500	2500
	a_m ——煤耗(发热量为4000大卡/公斤)	公斤/度	0.875	1.53
	J_m ——原煤到厂价格, 其中包括运输、装卸費	元/吨	25	40
	3. 送电綫路折旧維護費 $F_{a,l} = \alpha_{a,l} \cdot Z_{a,l}$	萬元	6.1	
	式中 $\alpha_{a,l}$ ——綫路折旧維護率	%	5.4	
	4. 变电站維護折旧費 $F_{b,d} = \alpha_{b,d} \cdot Z_{b,d}$	萬元	4.8	0.1
	式中 $\alpha_{b,d}$ ——变电站折旧維護率	%	10	10
	5. 电能損失費 $F_{n,s} = F_{a,s} + F_{b,s}$		0.105	
	(1) 綫路損失費			
	$F_{a,s} = \alpha_{a,p} \cdot P^2 \cdot L \cdot B_{d,n} \cdot \tau \cdot 10^{-6}$	萬元	0.33	
	式中 $B_{d,n}$ ——电能成本	分/度	3	
	τ ——最大負荷損耗時間	小时	1650	
	(2) 变电損失費			
	$F_{b,s} = \left[\left(\frac{P}{W_{0,d} \cos \varphi} \right)^2 \cdot \Delta P_{d,l} \cdot \tau + 8000 \cdot \Delta P_{k,s} \right] B_{d,n} \cdot 10^{-6}$	萬元	0.72	

表 4-4 两方案的主要材料消耗計算

計算項目及方法	單位	第I方案	第II方案
一、鋼材	吨	272	474
1. 发电工程	吨	180	474
2. 送电工程	吨	16	
3. 变电工程(5600千伏安)	吨	76	
二、銅	吨	6.4	12
1. 发电工程	吨	2.9	12
2. 变电工程(5600千伏安)	吨	3.5	
三、鋁	吨	43.4	
1. 送电工程	吨	43.2	
2. 变电工程	吨	0.2	
四、煤炭(一年)	吨	6664	10900
1. 电厂(負荷用电量和厂用电量的煤耗)	吨	6400	10900
2. 綫損(包括变压器)	吨	264	

(2) 供电电压选择 在第I方案中, 区域电力系统有35、110千伏二种电压, 但35千伏电压級不能满足技术上要求, 因而选用了110千伏作为向該地区供电的电压等級。采用110千伏电压也促进了其他地区电气化的发展。第I方案的配电电压, 为了簡化比較內容, 采用6千伏电压, 这样和第II方案有相同的比較基础。但是在实际工作中, 可能选用10千伏更为合适。这时, 在配电网方面的差別, 也应在比較中考虑。

(3) 計算表明, 第I方案(系統供电)的綫路电压降在2.5%以內, 所以两方案的电压质量均能满足用戶要求。在供电可靠性方面, 两方案都能满足农业負荷要求。

(4) 方案的經濟比較:

在經濟比較中, 有关的发、送、变綜合經濟指标, 系采用本手册第二章所推荐的数值。

各項經濟計算如表4-3所示。

由上述技术經濟分析表明, 采用区域电力系统供电方案是經濟合理的。綜合起来有以下几点:

(1) 两方案均能满足农业供电要求, 但在运行方面由系統供电要簡便一些;

(2) 在投資和运行費方面, 均以系統供电方案較為經濟, 大約可節約100%的运行費用和10%的投資;

(3) 在主要材料消耗方面, 系統供电虽比建立农村火电厂多消耗40多吨鋁, 但可節約200多吨鋼材、6吨銅、4300吨原煤(如表4-4所示);

(4) 由系統供电可减少大量的生产管理人員。

3. 区域电力系统向农村供电的 經濟合理範圍及其影响因素

(1) 按照和例子計算同样的方法, 对表4-5中所列条件进行了經濟計算探討区域电力系统向农村供电的經濟合理範圍及其影响因素。

表 4-5

项 目	单 位	区域电力系统 供电方案	建立农村火电厂供电方案			
1. 电厂机组容量	千瓦		1×0.75	2×0.75	2×1.5	2×3
2. 单位千瓦投资	元/千瓦	400; 550; 700	1200	1000	900	840
3. 厂用电率(电力)	%	8	5	5	5	5
4. 煤耗率(标准煤)	公斤/度		1.17	1.17	0.875	0.625
5. 折旧维护率	%	8.5	12	12	12	11
6. 到厂原煤价	元/吨	25		25; 40; 55		
7. 电能成本	分/度	3				
8. 同时率		0.3; 0.5; 0.7		1		
9. 供电电压	千伏	35; 60; 110		6		
10. 功率因数		0.8		0.8		
11. 标准抵偿年限	年	5		5		

(2) 根据两方案 5 年内总计算费用相等的条件, 得出区域电力系统和农村电站供电范围的经济范围。如图 4-2 所示。

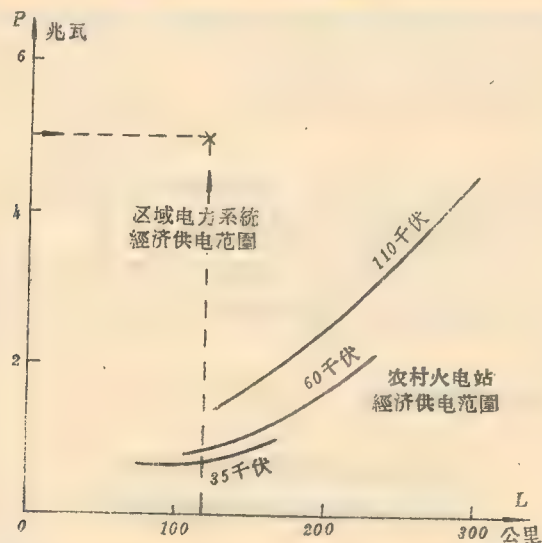


图 4-2 区域电力系统向农村供电的经济合理范围
(与小型火电厂的比较)

系统供电: 千瓦投资 550 元/千瓦, 煤价 25 元/吨, 同时率 $\alpha_{\text{同时}} = 0.5$ 。
小型火电厂: 煤价 40 元/吨, 负荷利用小时 $T = 2000$ 。

(3) 影响系统经济供电范围的几个因素

1) 同时率的影响 这里的同时率系指农村最大负荷与区域电力系统最大负荷相互错开的程度。其值的大小, 和农业用电占系统总用电的比重, 农业用电特性以及系统负荷特性有密切关系, 一般为 0.3~0.7。为满足农村同一用电要求, 如在农村建设小型电站, 则需要 100% 的容量, 而由区域系统供电, 只需要 30~70% 的容量。这个值大小, 对区域电力系统的经济供电范围, 有显著影响。从图 4-3 可以看出, 随同时率的增大, 系统供电的经济范围显著缩小, 而且负荷愈大, 影响越大。

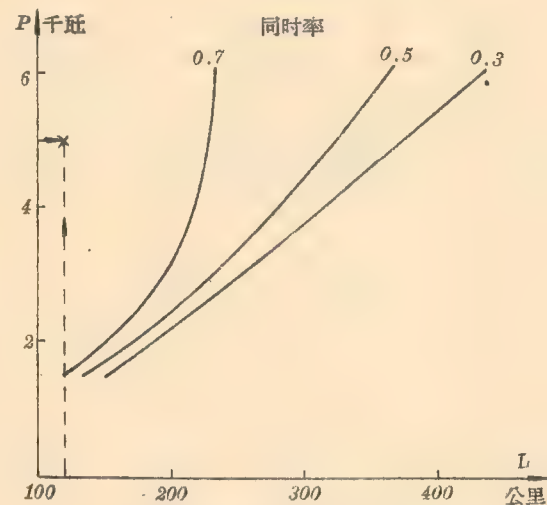


图 4-3 同时率对区域电网供电范围的影响

系统供电: AC-50, 110 千伏; 千瓦投资 550 元/千瓦; 煤价 25 元/吨。
小型火电厂: 煤价 40 元/吨, 负荷利用小时 $T = 2000$ 。

2) 单位千瓦投资的影响 由于系统中的单机容量较农村电站为大, 单位千瓦投资较低, 这种差别, 对系统供电的经济范围也有显著的影响。从图 4-4 看出, 随着系统单机容量的增大, 单位千瓦投资的降低, 系统供电的经济范围在扩大。

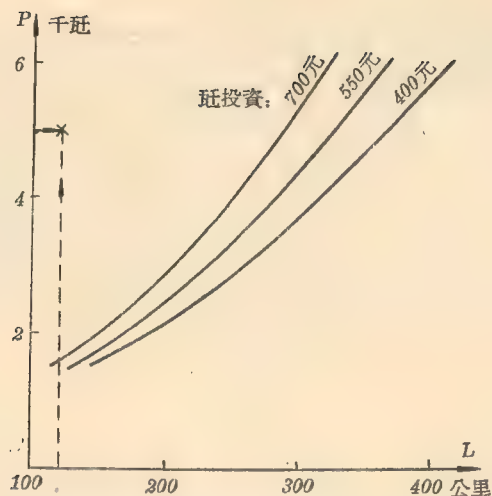


图 4-4 区域电力系统单位投资对其供电范围的影响
系统供电: AC-50, 110千伏; 煤价25元/吨, $x_{t,gh}=0.5$, $T=2000$.
小型火电厂: 煤价40元/吨.

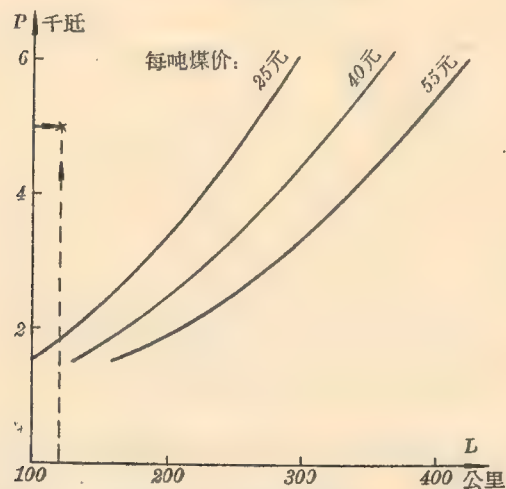


图 4-5 小型火电厂煤价对区域电网供电范围的影响
系统供电: AC-50, 110千伏; 煤价25元/吨; 投资550元/瓦;
 $x_{t,gh}=0.5$; $T=2000$.

3) 农村火电厂燃煤费用的影响 由于系统电厂和农村电厂的燃煤到厂价格的差别, 对系统供电的经济范围亦有较大的影响, 如图4-5所示。当系统电厂的到厂煤价为25元/吨, 而农村电厂的到厂煤价为25元/吨、40元/吨和55元/吨三种时, 随着到厂价格相对差值的增加, 系统供电的经济范围在扩大。

4) 由图4-2至图4-5可知系统供电的经济范围(对自建农村小型电厂而言) 受很多因素的影响。在决定方案时, 要因时因地制宜, 进行详细分析论证, 不过可以认为, 当区域电力系统有110千伏时, 在系统附近100~150公里范围内, 建设农村小型火电厂来实现大片地区的农村电气化一般是不经济的。

第五章 农村电力网的规划

5-1 概 述

电力网电压等级、接线方式和变电站布局的正确确定，不但能节约农村电力网的建设资金，而且也影响运行的安全和供电质量。因此，它是农村供电规划中的一项重要工作。

农村电力网的电压等级、接线方式和变电所的布局之间有一定的关系，而并不是相互独立的。在实际工作中，大致说来，先把负荷和变电所的布点初步定下来，然后再研究电压等级和接线方式，最后，再作必要的修正。

决定电力网电压、接线和变电所布局的主要因素是负荷的性质和大小，负荷之间、负荷和电源之间的相互距离。一般说来，通过几个方案的技术经济比较才能选择到比较正确的方案来。

5-2 电压的选择及各级电压的供电范围

电力网的额定电压是由国家规定的，额定电压一般都指线电压（即相与相之间的电压）。例如线路额定电压是10千伏，它的相电压是线电压的 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 倍，即5.8千伏。我国已颁布的电力网的标准电压等级有330、220、154、110、60、35、10、6、3千伏和500、380、220伏等十二种，相应于上述标准电压的发电机和变压器端子间的额定电压值见表5-1。

各种不同电压电力线路的输送容量及输送距离，不但受到技术条件的限制（如电压降不能超过某一数值，功率因数的大小等），而且又受到经济条件的影响。在规划中需要根据具体的条

表 5-1 电力网、发电机和变压器的额定电压表

电力网额定电压	端 子 间 额 定 电 压		
	发 电 机	变 压 器	
		一 次 绕 卷	二 次 绕 卷
单 位 为 伏			
220	230	220	230
380	400	380	400
500	525	500	525
单 位 为 千 伏			
3	3.15	3及3.15	3.15及6.3
6	6.3	6及6.3	6.3及6.6
10	10.5	10及10.5	10.5及11
—	15.75	15.75	—
35		35	38.5
60		60	66
110		110	121
154		154	169
220		220	242
330		330	360

件进行具体分析才能确定它的数值。不过，各级电压电力线路的输送容量及输送距离也有一定的范围，在大多数情况下如表5-2所示。

表 5-2 各级电压电力线路输送容量及输送距离的大概范围

电 压 (千伏)	输 送 功 率 (瓩)	输 送 距 离 (公里)
0.38	100以下	0.6以下
3	100~1000	1~3
6	100~1200	4~15
10	200~2000	6~20
35	1000~10000	20~70
60	3500~30000	30~100
110	10000~50000	50~150

在我国目前所采用的农村供电电压，低压为380伏及220伏二种，高压虽然有3、6、10、20、33、35、60及110千伏等八种，但更普遍和广泛采用的则为6、10、35及110千伏四种。

农村电气化在我国正处于一个蓬勃发展的阶段，各地的用电情况相差极大，负荷密度变化范围大致在每万亩耕地100~200瓩间；因此究竟采用何种电压等级及电压组合方案对农村供电是最经济的最合理的，值得进一步研究。目前供电电压中，个别非标准电压如33千伏应该不予发展或逐步改造为35千伏，但另一非标准电压如20千伏，在负荷密度比较高或配电点负荷比较大而又相距较远的地区，与60千伏或110千伏电压相互配合作为农村供电电压可能是极其有利的；此外，在非灌区500伏一级标准电压亦可能有推广的价值。在目前规划工作中，电压等级的选择，可以按照国家已颁布的标准电压等级来考虑；同时亦应该根据规划地区内的负荷特点等进行采用20千伏电压和500伏电压的研究，寻求合理的电压组合关系，如110与35千伏或60与20千伏等，为进一步制订农村电力网的额定电压等级和电器设备的制造提供依据。

电力网电压的选择，一般应通过技术经济分析来决定。不过有一些设计和运行经验的总结，值得在编制规划时加以注意的。

(1)两个不同电压的方案的经济指标相差不多时，应该首先采用较高电压的方案。这是因为对于同一负荷条件下采用较高电压，有下列优点：

1)减少铜、铝的消耗 用同一经济电流密度选择截面时，两种电压方案中的截面之比约与它的电压成反比。例如采用6千伏电压比采用10千伏电压就要多消耗67%左右的铝（负荷很小，导线截面须按机械强度来选择时，两种电压的导线截面是一样的）。如果导线截面按允许电压降来选择时，在功率因数等于1的情况下，二种电压方案中的截面之比约与电压的平方成反比。总之，采用电压较高的方案，在一般情况下总是节省铜、铝金属的。

2)减少电能损耗 在按经济电流密度选择截面时，高电压方

案不仅节约有色金属，同时还节省电能损耗。二个方案电能损失的比值约与它的电压成反比。在(1)中所述例子中，6千伏的电能损失也要比10千伏多67%左右。

3)有利于采用廉价导线 因为采用高电压的方案，线路流过的电流减少了，就可采用便宜的铁线。

4)有利于负荷的进一步发展 因为高电压线路的通过能力要大于较低电压的线路。

(2)对于6千伏及10千伏两种电压，由于它们的设备在造价上相差不多，根据(1)中所述的原则，应该推广采用10千伏。但在下列情况下，6千伏电压仍然可以考虑采用。

1)该地区已有6千伏电力网供电；

2)发电厂发电机电压为6千伏时；

3)地区的负荷密度很小，极大部分导线截面按机械强度来决定时；

4)若用户中有高压马达，那么究竟采用6千伏还是10千伏，需要由技术经济比较来决定。影响选择哪一种电压最重要的因素是高压马达的比重，根据一些典型情况，对于不同的高压马达的比重，不同的负荷我们估出3、6千伏电压的经济供电范围，如表5-3所示。

表5-3 在有高压马达时6千伏电压的经济供电范围

高压马达占地区 总负荷的比重 (%)	地区总负荷(瓩)	
	500~2000	2000~4000
20	4~6公里以内	3~5公里以内
30	6~8公里以内	4~7公里以内
40	10公里以内	8公里以内
40以上	15公里以内	15公里以内

影响选择电压的因素很多，上表数值可能有变化，因此只在估算时作参考。

同样道理, 对于 380 伏及 220 伏二种电压, 应该采用 380 伏电压作为三相动力用户的电压。

(3) 3 千伏电压的供电距离太近, 在当前我国农村情况下, 一般不宜采用作为配电网的电压。但是, 当用户具有 3 千伏高压马达时, 可在用户变电所中采用。

(4) 在一个地区的电力网内, 60 千伏与 35 千伏电压之间, 10 千伏与 6 千伏电压之间, 如果没有特殊理由, 最好只采用其中一种电压。

例: 某地拟建一大型排灌站, 电力负荷为 700 瓩 $\cos\varphi=0.7$, 年最大负荷利用小时数为 1000 小时, 排灌站距离最近的 35 千伏变电站约 5 公里, 35 千伏变电站现有一台 1000 千伏安变压器, 其接线如图 5-1 所示。该排灌站马达电压为 380 伏, 没有装 2 台变压器

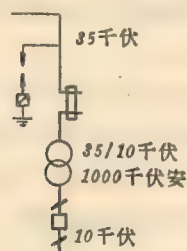


图 5-1

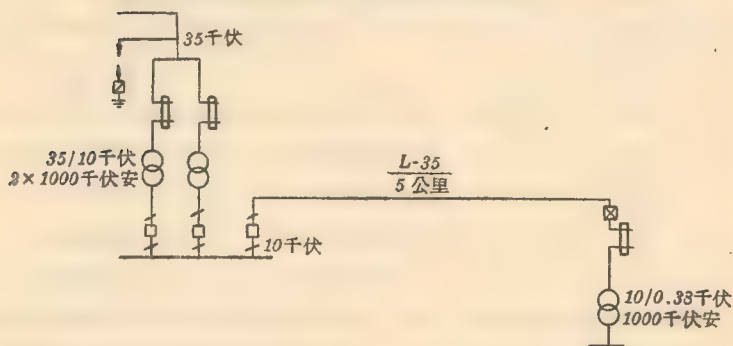


图 5-2

供电的要求。试求是扩建现有 35 千伏变电站以 10 千伏供电好? 还是在排灌站旁边建设 35 千伏变电站直接降压 380 伏供电好?

(1) 根据负荷要求拟定的方案接线, 如图 5-2、5-3 所示(只画出两方案的不同部分)。

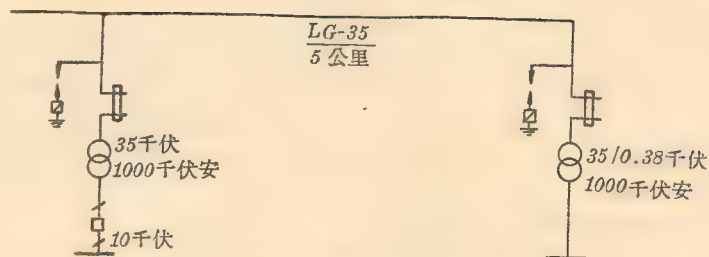


图 5-3

第 I 方案: 在原有 35 千伏变电站中, 扩建一台 1000 千伏安变压器 (35/10 千伏), 以 10 千伏供电。

第 II 方案: 在用户附近建 35 千伏/0.38 千伏变电站, 直接以 380 伏供电。

(2) 设备选择: 负荷为 700 瓩, $\cos\varphi=0.7$, 视在容量为 1000 千伏安, 所以用户变电站的变压器, 选用一台 1000 千伏安, 在第 I 方案的现有变电站中, 暂按扩建一台 1000 千伏安 35/10 千伏的变压器来考虑 (如有可能, 亦可将现在的一台变压器调走, 而换一台 2400 千伏安的变压器)。

线路的导线截面按经济电流密度 (2 安/毫米²) 来选择, 第 I 方案的 10 千伏线路导线选用 L-35 号导线。第 II 方案的 35 千伏线路导线, 按经济电流密度 (2 安/毫米²) 计算, 其经济截面只有 8 毫米², 但 35 千伏所采用的钢心铝线最小号导线为 LG-35, 所以选用 LG-35 号导线。

35 千伏变压器高压侧采用熔断保险器和刀闸; 低压侧选用油开关; 10 千伏变压器高压侧选用负荷开关和熔断保险器。

(3) 计算表明, 两方案的电压质量均能满足要求 (第 I 方案 10 千伏供电电压降只有 6.5%, 第 II 方案 35 千伏供电电压降较小)。供电可靠性方面, 两方案差不多, 亦都能满足要求。

(4) 两方案的经济计算

计算中所采用的综合投资指标, 系本手册第二章所推荐的数值, 见表 5-4。

該变电所的位置在2或4，相应的接綫图如图5-5和图5-6所示(导綫截面按电压降不超过6%进行选择)。

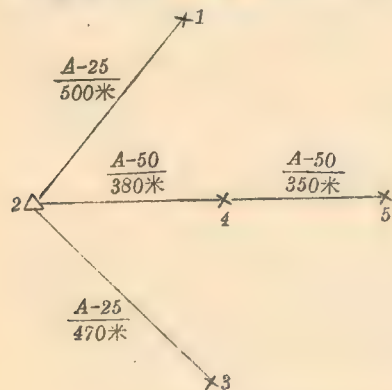


图 5-5

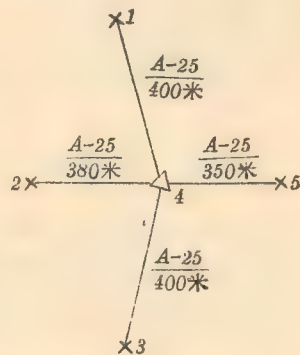


图 5-6

在图5-5的結綫图中，綫路长度共1700米，需用鋁135公斤。但在图5-6中，綫路长度为1530米，需用鋁104公斤。从电能損失来看，显然后者也要少損失一些。由此可以看出，把变电所放在負荷中心要比偏于負荷的一隅有利得多。这里需要特別指出的是，不能把負荷中心和地理位置的中心混淆起来，負荷中心是由送电距离、送电容量等条件决定的，它与地理位置的中心一般是不一致的。例如有两个負荷，一个为1000瓩，一个为100瓩，显然地理中心在两个負荷之間連綫的中心上，而負荷中心应该在1000瓩負荷附近。

2. 变电所的位置考虑建在負荷中心的同时， 还需要注意下列問題

(1) 应该注意高压綫路的投資对变电所位置的影响。例如在图5-5及图5-6中，如果高压綫路从下面方向引来，变电所建在4，显然仍旧是合理的。但是如果高压綫路从左边方向引来，变电所是建在2合适还是4合适，就不是那么容易断定，而必須由技术經濟比較来决定。

(2) 主要供电对象为排灌站的6~10千伏变压器，最好設置在邻近負荷中心的一个排灌站，这对运行維護工作会带来很多的方便。

(3) 变电所的位置除了必須从整个系統加以研究外，还必须考虑建造变电所的具体条件，例如地形、地质、交通和預防洪水淹沒等条件。

3. 尽可能将不同类型的用戶接在一个变电所內，提高 变压器的利用率

特別在有排有灌地区，最好将排灌負荷組合在一个变电所中，节约变压器的容量。

5-4 农村电力网的接綫方式

农村电力网的結綫应力求简单可靠，操作方便和节约投資。放射形接綫就是滿足这些要求的接綫方式。它的缺点是綫路发生故障或檢修时，就要暂时停止对用戶的供电。但是对农村用戶来讲，短时间的停电是允許的。所以目前农村电力网中，广泛采用了这种接綫方式，它的具体形式见图5-7至5-9。

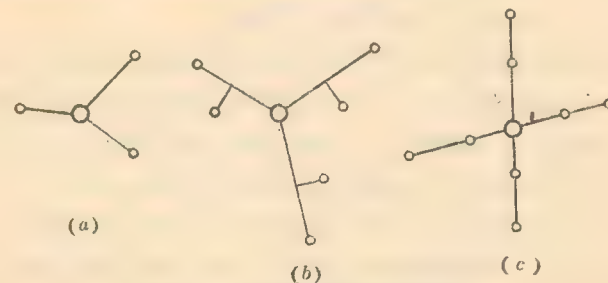


图 5-7 最简单的放射形接綫

图5-7是最简单的放射形接綫，在380伏和35千伏农村电力网中应用得比較普遍。至于农村6~10千伏电力网，由于每条綫上常常接有很多配电变压器，其接綫方式常如图5-8和图5-9所示。

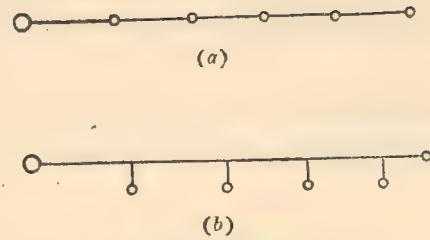


图 5-8 鏈形接綫

图 5-8 称为鏈形接綫，当負荷点沿一条綫分布时，就可以采用这种接綫。其中接綫 *a*) 中，綫路必須断开后才接入每个变电所，增加了費用，在 380~10 千伏綫路上，不推荐采用这种接綫，而应采用 *b*) 的接綫方式，在采用图 5-8 中 *b*) 接綫时，如果分支数目过多，綫路延伸过长，为了提高这种接綫的可靠性，縮小故障范围和便于檢修，需要注意下列二点：

(1) 对于 35~60 千伏干綫上，分支点一般不应超过 5 个，如超过此数，应在每 3~5 个支接点后装設开关装置(油开关，熔断器或隔离开关)。接綫图如图 5-10 所示。

(2) 对 6~10 千伏电力綫路应照顾维护檢修方便，适当分段，在分段处装置开关設備(負荷开关，熔断器，隔离开关等)。上述二点也同样适用于树枝形接綫。

图 5-9 为树枝形接綫的几种形式，它是具有較多分支綫的放射形接綫，常在农村 6~10 千伏电力网中应用。由于这种接綫的送电距离較远，分支綫較多，在采用时需要注意下列几点。

(1) 必須驗算并保証綫路末端的电压质量。

(2) 这种接綫在发生事故或檢修时，停电面积較大。因此在經濟上合理时，应增加变电所的出綫，减少每回路上負荷的数目。

(3) 点与点、点与綫之間的連接要考虑下列几个因素：

- 1) 連結綫的距离要短；
- 2) 点与供电点之間的电气距离要短；

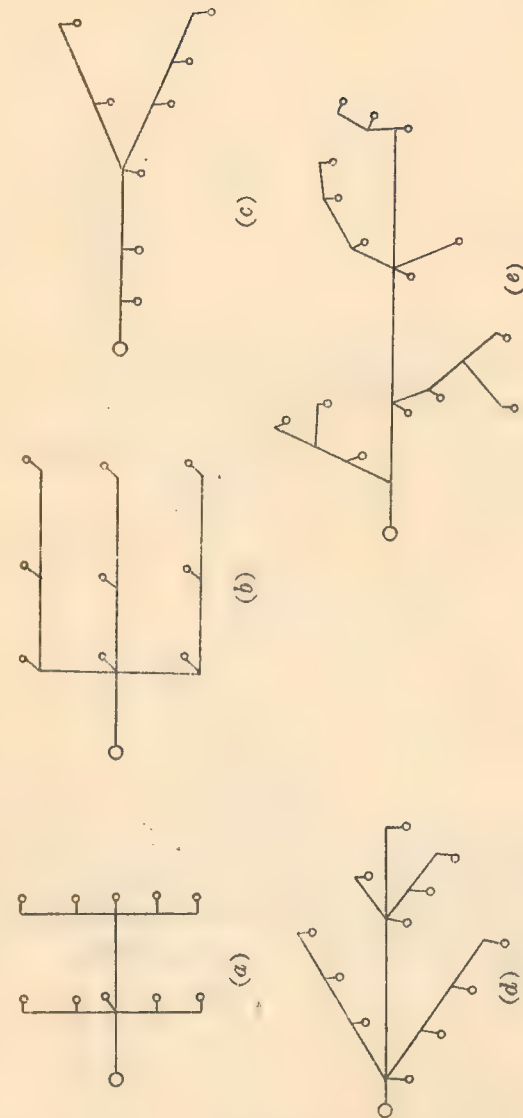


图 5-9 树枝形接綫

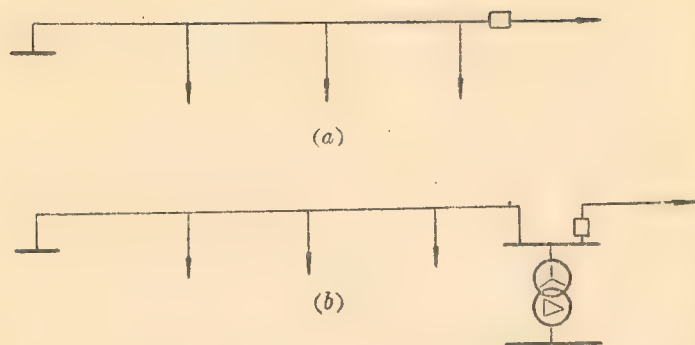


图 5-10 利用开关装置分段的放射形接线

- 3) 充分利用线路的经济传输容量;
- 4) 在不增加费用的前提下, 线路要布置得规则一些;
- 5) 一定要避免图5-11所示的迂回供电现象。

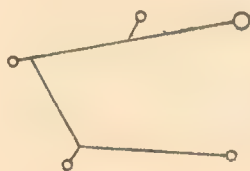


图 5-11 迂回接线方式

除了上述放射形接线外, 还有双回路 (图 5-12)、环形 (图 5-13)、和二端供电 (图 5-14) 等接线方式, 这些接线对供电的可靠性大大地提高了, 即使在事故或检修时, 也能保证对用户的连续供电, 但是投资太大, 在农村电力网中很少采用。

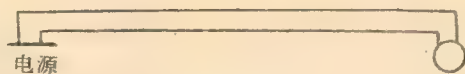


图 5-12 双回路接线方式



图 5-13 环形接线方式



图 5-14 二端供电接线方式

最后需要指出, 究竟采用哪种接线方式, 需要由技术经济分析来决定。

5-5 农村发电厂和变电所的主接线

1. 确定主接线的原则

表示电力装置主要设备元件及其相互间的联结图, 称为电气主接线图。通常主接线采用单线图来表示, 即用一条线来表示三相, 并在图中只示出设备的主要元件, 例如: 发电机、变压器、油开关、隔离开关、熔断器等。

主接线的拟定, 不仅是作为供电规划设计、进行电气计算、选择电气设备以及拟定配电装置的布置安装等的依据, 而且是作为以后运行中一切操作和倒换电路的依据。所以主接线的拟定, 应该满足下列基本要求:

(1) 在满足系统和用户对供电可靠性要求的前提下, 主接线的设备投资和运行费应该最少。

(2) 主接线应该力求简单、方便和灵活, 例如: 主接线应该尽量简化, 布置应尽可能明显对称, 操作手续要少。这样就可以避免或减少误操作, 提高运行的可靠性, 处理事故也能简单迅

速。結綫的灵活性表现在：例如为了经济运行可以方便地投入或切除某机组或变压器等。

(3) 在进行电路的一切操作倒换时，能保证工作人员和设备的安全，以及能在安全条件下方便地进行维护检修工作。

(4) 应具有扩建的可能性。在具体拟定发电厂主結綫时，应该从下列几方面入手，例如：电厂容量的大小，机组的数目，电厂的型式，是否与系统联结，配电网的电压等级以及用户的性质与分布等。而拟定农村降压变电站主結綫是依据其容量大小，配電綫的数目，变电所中变压器的台数，以及变电所在系统中的位置来确定。

2. 确定农村发电厂和变电所中主接綫的几点意見

由于农业用电对供电連續性的要求不象工业那样严格，因此农村电厂与变电所的主結綫相对來說，更应该力求简单经济。现提出下列几点意見以供参考。

(1) 农村电厂和变电所适于采用单母綫或单母綫分段（母綫分段用于两台以上机组或变压器），通常不采用双母綫或其他复杂的結綫。

(2) 简化配電装置的设备，避免采用贵重的开关设备，以降低造价。

对低压出綫，当负荷不大时，可装設熔断器和刀閘来代替自动空气开关。

对于高压装置，应尽量采用跌落式熔断器负荷开关与熔断器的組合或隔离开关和熔断器来代替贵重的油开关。

1) 对电压在10千伏及以下的引出綫，当綫路的负荷电流在15安培以下时，可以采用隔离开关与熔断器的組合（或用跌落式熔断器）来代替油开关。在这种情况下隔离开关作为操作电器，必须采用户外三联隔离开关。如果负荷电流大于15安培，可采用负荷开关与熔断器的組合来代替油开关。只有当綫路倒换操作频繁、綫路所带负荷较大、用户要求较高的供电可靠性，或者在雷

电活动厉害的地区，需采用重合閘装置等情况下，才采用油开关装置。

2) 根据电力工业技术管理法規規定：使用屋外三联隔离开关可以开合励磁电流不超过2安的无负荷变压器和电容电流不超过5安的无负荷綫路，因此在35~110千伏电网中，只在下列情况下才能使用屋外三联隔离开关（或加熔断器）来代替油开关进行操作：

用来操作不超过下列长度的空載綫路：

35千伏，約为85公里，

60千伏，約为50公里，

110千伏，約为25公里；

用来操作不超过下列容量的空載变压器：

35千伏，2400千伏安，

60千伏，4200千伏安，

110千伏，10000千伏安。

除了綫路上沒有下接的終端变电所可以只用隔离开关（有时需加人工接地刀閘）来代替油开关外，在其他情况下須用隔离开关与保險器組合来代替油开关。

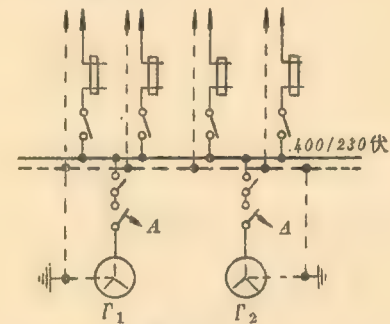


图 5-15

1. 本图为具有两台发电机电压为400/230伏孤立运行发电厂的主結綫图，其容量在100~200千伏安以內。

2. 单母綫也可用隔离开关或刀閘分段。图中虛綫表示中性綫，A表示A型自动空气开关。

3) 用熔断器来代替油开关是节约变电所造价的最重要方法, 在符合1)、2)条件时, 应尽可能采用。不过使用熔断器后, 应保证电力网发生故障时有选择性地断开故障元件。不能满足上述条件及熔断器的容量不能满足要求时, 应采用油开关。

根据以上原则, 提出几种基本接线图, 如图 5-15 至 5-21 所示。

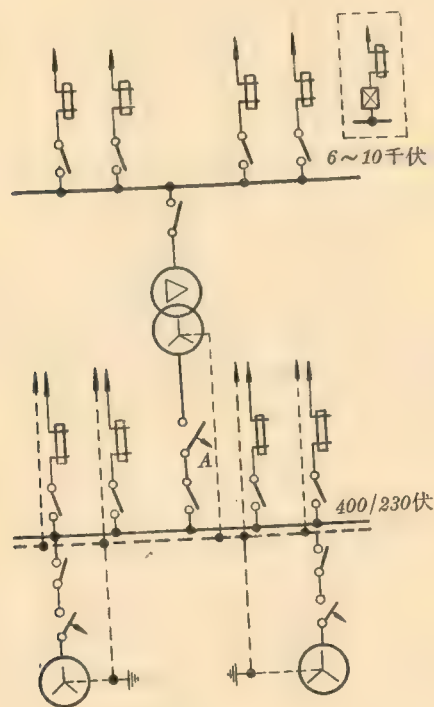


图 5-16

1. 本图为具有两台低压发电机和一台升压变压器发电厂主接线, 发电厂容量在200~500千伏安。
2. 当变压器容量小于180千伏安时, 变压器与低压母线之间的A型自动空气开关可改用熔断器代替。
3. 6~10千伏出线应采用哪种开关设备, 可根据本节2中所述原则决定。

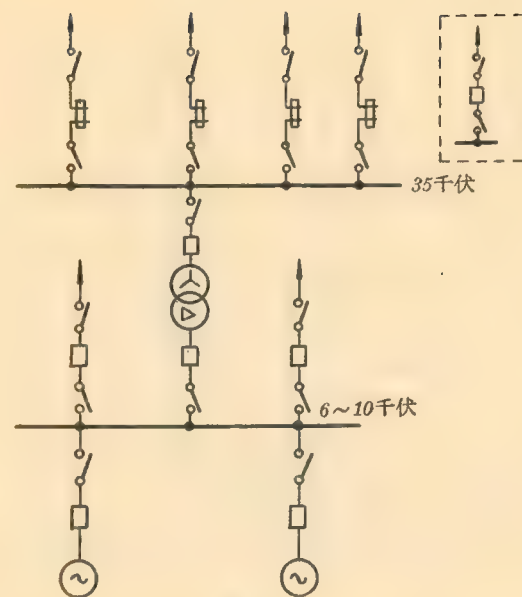


图 5-17

- 说明: 1. 本图适用于农村较大发电厂, 特别是较大农村水电站。
2. 35千伏的出线上究竟采用哪种开关设备可根据本节2中原则决定。
3. 6~10千伏母线可考虑用隔离开关或油开关分段。
4. 如果是孤立电厂, 可以不装设变压器高压侧开关。

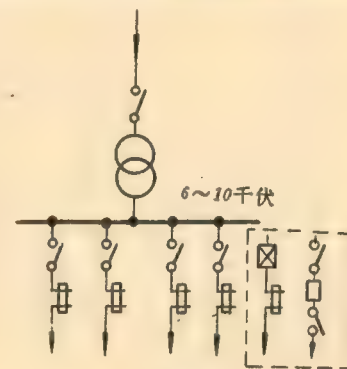


图 5-18

- 说明: 1. 本图为适用于线路上不带T接的终端变电所。
2. 变电所二次侧出线选用哪种开关设备可根据本节2中所述原则决定。

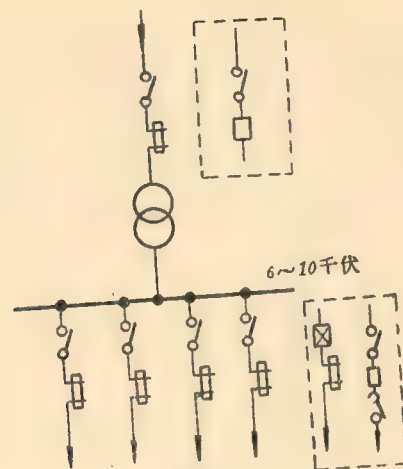


图 5-19

- 说明: 1. 本图适用于与干线分支连接的变电所中。
2. 变电所中所用开关设备可根据本节 2 中所述原则决定。

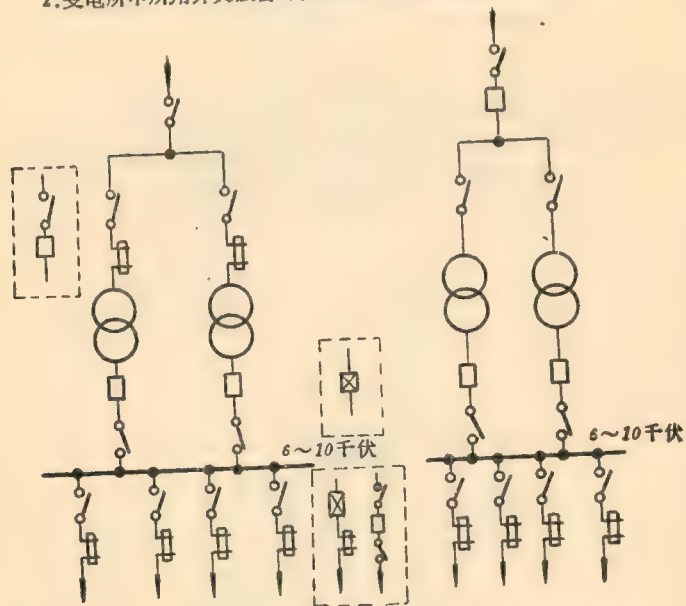


图 5-20

- 说明: 1. 本图适用于有二台变压器的变电所内。
2. 采用何种开关设备可根据本节 2 中所述原则决定。

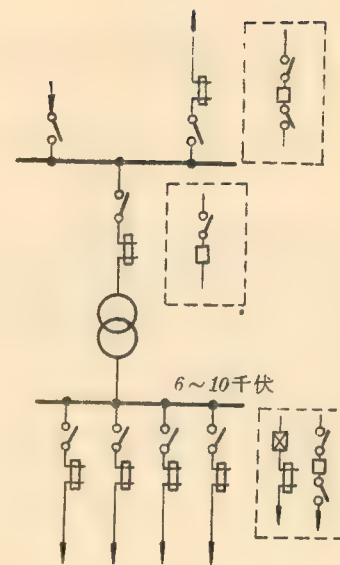


图 5-21

- 说明: 1. 本图适用有功率穿过母线的变电所中。
2. 如果进出线两端都有电源, 则进线侧也应有油开关。
3. 开关设备的选择可根据本节 2 中原则决定。

第六章 两线-地制及三相-单相制

6-1 概 述

在中性点不接地的系统里，三相输电线路一般架有三根导线。若三相输电线路仅架二根导线而借用大地作第三根导线，即组成所谓“两线-地”制。“两线-地”制电力网的原理图见图 6-1。

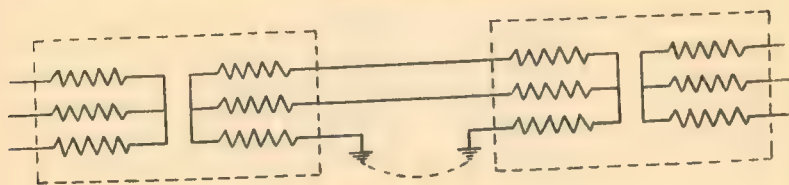


图 6-1 两线-地制电力网的原理图

当电力线路按两线-地制建设时，导线材料消耗量减少了三分之一，由于架空导线数目的减少，杆塔材料消耗、线路绝缘子及其他金具亦将减少。变电所的某些设备如隔离开关、熔断器等也可以作成两极的，所有这些都节约投资和原材料消耗。同时，由于三相电流中一相电流在大地中流过，这样使线路中功率损失减少了25~30%。

上述优点如此显著，故现在我国许多农村电力网广泛地采用两线-地制。

采用两线-地制，对通讯线路的影响是非常重要的问题。因为利用大地作为导线时，地中电流不但在故障时可以流通，在正常情况下也能流通，其影响比普通三相线路内大得多。因此，规划和设计两线-地制的线路，必须考虑对通讯干扰的影响。在大城市近郊、铁路干线路附近及居民稠密地区，使用两线-地制时须特别慎重。

6-2 两线-地制的应用范围及使用的技术条件

两线-地制适用于中性点不接地的高压电力网中，即电压在35千伏及以下和3千伏及以上的电力网中。为了运行安全，1000伏以下的低压电力网不能应用两线-地制。

两线-地制可同时应用多级电压的电力网中，例如，在35千伏及10千伏电力网中同时应用。由于二线-地制中电力网的一相和大地相连，因此不能利用消弧线圈来消除接地电弧电流。

受旋转电机的绝缘条件的限制，两线-地制输电线路不能直接与发电机或电动机连接，只能经过变压器与发电机或电动机连接。

两线-地制的电力网只有经过变压器后才可与三导线的电力网连接。为了安全，两线-地制线路不容许与380伏线路同杆悬挂。

当接地短路电流大，土壤阻抗大，线路距离短，接地装置的费用超过节省一根导线的费用时，应用两线-地制就不合算了。当两线-地制电力网对通讯及信号线路的影响超过容许限度时，两线-地制的应用也就受到限制。

6-3 两线-地制电力网的电气计算

两线-地制电力网的电压损失与三根导线的电力网一样计算。对于两线-地制的架空导线内的电压损失值可按普通的公式来计算，以线电压表示时：

$$\Delta U_{d.s.} = \sqrt{3} I l (r \cos \varphi + x \sin \varphi) \text{ 伏}, \quad (6-1)$$

式中 r 及 x ——导线的电阻及电抗，(欧/公里)；

I ——流经导线的负荷电流，(安)。

大地一相内的电压损失值，以线电压表示，可用下列公式确

定:

$$\Delta U_d = \sqrt{3} I l (r_d \cos \varphi + x_d \sin \varphi), \quad (6-2)$$

式中

$$r_d = \frac{1}{3} (r + 2r'_d); \quad (6-3)$$

r'_d ——电流在地中经过路径的电阻, 可取 $r'_d = 0.05$ 欧/公里;

$$x_d = \frac{1}{3} (x + 2x'_d), \quad (6-4)$$

x'_d ——大地的电抗, 对于普通土质而言, $x'_d = 0.36 \sim 0.5$ 欧/公里。

平均起来, 我们取 $x'_d = 0.43$ 欧/公里。

在接地相电压损失的计算中, 还有接地的电压损失, 但一般很小, 可以忽略不计, 在必要的情况下, 可按下列式计算:

$$\Delta U_{j,d} = \sqrt{3} I \frac{2}{3} R_{j,d} = 1.16 I R_{j,d}, \quad (6-5)$$

式中 $R_{j,d}$ ——接地相接地装置的电阻, (欧);

I ——经过接地装置的负荷电流, (安)。

由于地相每公里的电抗值和架空线相差不多, 而其电阻值则在一般情况都小于架空线。从(6-3)、(6-4)及(6-2)的公式中我们可以看出, 在绝大多数情况下, 地相内的电压损失比架空导线内的值为小。由于这个原因, 线路末端的各线电压值略有不同。虽然如此, 当线路中容许的电压损失值在10%以下时, 电压的不均等并不超过3~4%的限度, 这在运行上是完全可以容许的。

因此, 两线-地制线路的电压损失的计算, 可按普通的架空三线制来进行, 不必计算地相内的电压损失值。

例: 试决定两线-地制线路内的电压损失值, 线路长度 $l = 13$ 公里, 电压 $U = 10$ 千伏, 输送功率 $W = 260$ 千伏安, $\cos \varphi = 0.8$, 铝线标号为 L-16。

根据第七章架空线路参数表查得, 导线间距离 $D_{op} = 1000$ 毫米时, 架空导线 $r_0 = 0.377$ 欧/公里, A-25 铝导线 $r_0 = 1.96$ 欧/公里, 假定三相负荷电流是均衡的, 可得

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} U} = \frac{260}{\sqrt{3} \times 10} = 15 \text{ 安.}$$

此时架空导线内的电压损失为 (代入 6-1):

$$\Delta U_{d,a} = \sqrt{3} \times 15 \times 13 (1.96 \times 0.8 + 0.391 \times 0.6) = 606 \text{ 伏, 即 } 6.06\%.$$

地相内的电压损失:

当 $r'_d = 0.05$ 欧/公里时, 地相内单位长度的电阻根据公式(6-3)为:

$$r_d = \frac{1}{3} (r + 2r'_d) = \frac{1}{3} (1.96 + 2 \times 0.05) = 0.687 \text{ 欧/公里.}$$

当 $x'_d = 0.43$ 欧/公里时, 地相内单位长度的电抗, 根据公式(6-4)为:

$$x_d = \frac{1}{3} (x + 2x'_d) = \frac{1}{3} (0.391 + 2 \times 0.43) = 0.417 \text{ 欧/公里.}$$

根据公式(6-2), 地相内电压损失为:

$$\Delta U_d = \sqrt{3} \times 15 \times 13 (0.687 \times 0.8 + 0.417 \times 0.6) = 271 \text{ 伏, 即 } 2.71\%.$$

6-4 两线-地制电力网的接地装置

在两线-地制电力网中, 把接地相用单独的接地线接到变电所公共的接地装置上。接地相的接地线应接在电力变压器的引出端上, 若在接地相中装了电流互感器, 则应按图 6-2 在电流互感器后接地。

在两线-地制电力网中, 选择接地装置的接地电阻应满足在正常情况下及在故障情况下的要求。

(1) 在正常情况下, 接地装置的对地电压不应超过50伏, 因此接地装置的接地电阻应为

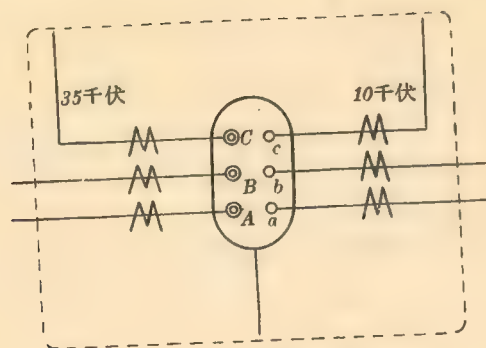


图 6-2 在电流互感器后接地

$$R \leq \frac{50}{I}, \quad (6-6)$$

式中 I ——经过接地体的最大负荷电流。

(2) 在故障情况下, 所有电力网可分成大短路电流接地的电力网及小短路电流接地的电力网。凡是两相短路接地的稳态电流值超过 500 安的电力网, 叫做大短路电流接地的电力网, 而等于或小于 500 安的则叫做小短路电流接地的电力网。

在两线-地制电力网中变电所的容量, 如表 6-1 所示时, 短路接地电流小于 500 安。

表 6-1 短路接地电流小于 500 安的变电所的容量

变 电 站 种 类	电力网电压(千伏)		
	6	10	35
农村电站的升压变电所	1800	3200	10000
地区电力系统供电的降压变电所	320	560	1800

1) 在两线-地制电力网中, 具有大短路接地电流(大于 500 安)的变电所中, 接地电阻不应超过 0.5 欧;

2) 在两线-地制电力网中, 具有小短路接地电流(小于 500 安)的变电所中, 接地电阻用下述的电流进行计算。该电流 i 等于由

于相间短路继电保护的起动电流, 或熔断器的熔断电流。继电保护的起动电流取为 1.5 倍整定电流, 而熔断器的熔断电流取为熔丝额定电流的 3 倍。接地电阻应为

$$R \leq \frac{125}{i}.$$

当接地体不接低压设备的中性线时, 接地电阻应为

$$R \leq \frac{250}{i}.$$

根据 380/220 伏装置的工作条件, 对于 6~10~35/0.4 千伏的降压变电所, 当变压器容量小于 100 千伏安时, 接地电阻不应超过 10 欧, 而当变压器容量大于 100 千伏安时, 接地电阻不应超过 4 欧。

(3) 考虑了对正常情况及故障情况的要求, 在小短路电流接地的电力网中, 二次电压为 0.4 千伏的降压变电所的接地电阻值示于表 6-2。

表 6-2 小短路接地电流电力网中的接地电阻

降压变电所的容量 (千伏安) 小于	接 地 电 阻 (欧)		
	两 线 - 地 制 线 路 的 电 压 (千 伏)		
	6	10	35
50	10	10	10
70	7.4	10	10
100	5.2	8.7	10
180	2.9	4.0	4
240	2.2	3.7	4
320	1.6	2.7	4
560	0.93	1.5	4

6-5 两线-地制电力网对通讯线路的干扰影响

当两线-地制线路的一段能对通讯线路发生影响时, 该段就叫做接近段。当平行接近时, 通讯线路与两线-地制线路之间的

距离叫做接近宽度 a 。当偏斜接近时，接近宽度等于接近段始端的距离 a_1 及终端的距离 a_2 的几何平均值，即 $a = \sqrt{a_1 a_2}$ 。

1. 对双绞电话线路的干扰影响

(1) 对于无中间放大器的通讯线路，沿 35 千伏电压的两绞-地制线路容许的接近段的长度为：

当接近宽度 $a \geq 100$ 米时，30公里；

当接近宽度 $a \geq 50$ 米时，10公里。

(2) 对于无中间放大器的通讯线路，沿 10 千伏电压的两绞-地制线路容许的接近段的长度为：

当接近宽度 $a \geq 30$ 米(无交叉)时，10公里；

当接近宽度 $a \geq 50$ 米(考虑2~3个交叉)时，10公里。

2. 对单绞电话线路的干扰影响

可用表 6-3 查得容许的接近宽度。

表 6-3 单绞电话线路与两绞-地制线路之间容许的接近宽度

电 压 (千伏)	接 近 宽 度 (米)		
	接近段的长度(公里) 小于		
	10	5	1
6	200	140	65
10	250	180	80
20	400	250	120
35	500	350	150

这里只介绍了如何估计两绞-地制线路对通讯线路的干扰影响，当发现接近段的长度或接近宽度超过容许值时，应进行精确的计算。

在输电线的始端或终端附近有较多的通讯线路时，如在市镇附近，将接地相的接地装置移至市镇以外接地，而在通讯线路密

集处的输电线仍按三绞架设，能减少对通讯线路的影响。当然，这种措施应与全绞三绞制进行经济比较。

6-6 三相-单相制

在电力网 6~10 千伏线路上，将所有大用户包括动力用户在內都接到三相上，而所有其余小用户——首先是照明及家庭用电器具，则由单相分支线路通过容量不大的单相变压器供电，此种供电方式称为三相-单相混合制，如图 6-3 所示。

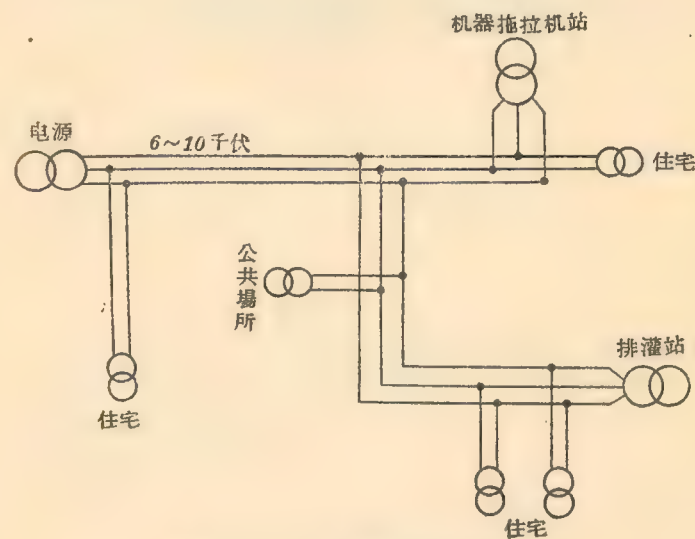


图 6-3 三相-单相混合网路示例

对于负荷密度不大、大小电力用户很分散的农业区，采用这种三相-单相制供电是有利的。因为它不但节省了高压线路的造价，而且也减少了低压网络里的导线消耗量。据苏联电力工作者的一些计算表明：在某些情况下，采用混合制可使高低压网络内的导线消耗量减少 40~50%，同时供电成本与普通三相制相比

較，可降低15~25%。因此这种接綫有推广价值。

在农村电力系统中，三相-单相混合制中单相負荷的分布，应使由农村发电厂或变电所引出的饋电綫各相的負荷不平衡率不超过20%。

$$P\% = \frac{i_{z.d} - i_{p.f}}{i_{p.f}} \times 100, \quad (6-7)$$

式中 $P\%$ ——各相負荷不平衡率；

$i_{z.d}$ ——三相中最大一相电流；

$i_{p.f}$ ——三相平均电流。

因此，在設計三相-单相混合制的网络时，应将单相負荷大致均匀地分配在三相上，保持三相負荷大体平衡。

第七章 农村电力网的电气計算

7-1 架空綫路和变压器电气参数的計算

1. 架空綫路的电气参数

在进行电力网的計算时，架空綫路用电阻 R ，电抗 X （指总电抗）和电納 B （指容納）来代表。一般計算时不考虑綫路的电导，对于35千伏及以下电压等級的綫路，电納可以忽略不計。

图7-1表示了綫路的等值阻抗图。

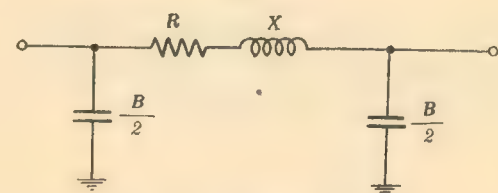


图 7-1 架空綫路的等值阻抗图

下面介紹中、短距离架空綫路的参数 R 、 X 和 B 的計算。

(1) 綫路电阻的計算

每公里綫路的电阻由下式求得：

$$r_0 = \frac{\rho}{S}, \text{ 欧/公里} \quad (7-1)$$

式中 ρ ——綫路的計算电阻率，(欧-毫米²/公里)；

銅綫的电阻率 ρ 为 18.8 欧-毫米²/公里；

鋁綫的計算电阻率为 31.5 欧-毫米²/公里；

S ——导綫的标准截面积，(毫米²)。

长度为 l 公里的导綫电阻为

$$R = r_0 l, \text{ 欧} \quad (7-2)$$

表 7-2 架空鋼導綫的电阻和电抗值
(单位: 欧/公里)

导 綫 牌 号	T-4	T-6	T-10	T-16	T-25	T-35	T-50	T-70	T-95	T-120
电 阻 r_0 (欧/公里)	4.65	3.06	1.84	1.20	0.74	0.54	0.39	0.28	0.20	0.158
計算直徑(毫米)	2.2	2.7	3.5	5.1	6.3	7.5	9.0	10.6	12.4	14.0
几何均距(米)										
0.4	0.385	0.371	0.355	0.333	0.319	0.308	0.297	0.309	0.300	
0.6	0.411	0.397	0.381	0.358	0.345	0.336	0.325	0.327	0.318	
0.8	0.429	0.415	0.399	0.377	0.363	0.352	0.341	0.341	0.332	
1.0		0.429	0.413	0.391	0.377	0.366	0.355	0.341	0.332	
1.25		0.443	0.427	0.405	0.391	0.380	0.369	0.355	0.346	
1.5			0.438	0.416	0.402	0.391	0.380	0.366	0.357	0.368
2.0			0.457	0.435	0.421	0.410	0.398	0.385	0.376	0.382
2.5				0.449	0.435	0.424	0.413	0.399	0.390	0.393
3.0				0.460	0.446	0.435	0.423	0.410	0.401	0.403
3.5				0.470	0.456	0.445	0.433	0.420	0.411	0.411
4.0				0.478	0.464	0.453	0.441	0.428	0.419	0.418
4.5					0.471	0.460	0.448	0.435	0.426	0.425
5.0						0.467	0.456	0.442	0.433	0.431
5.5								0.443	0.439	0.437
6.0								0.454	0.445	

表 7-3 架空鋼導綫的外电抗值 x'_0
(单位: 欧/公里)

导 綫 牌 号	G- $\phi 3.5$	G- $\phi 4$	G- $\phi 5$	G- $\phi 6$	G-25	G-35	G-50	G-70	G-95	G-120
計算直徑(毫米)	3.5	4.0	5.0	6.0	5.6	7.8	9.2	11.5	12.6	16.2
几何均距(米)										
0.4	0.341	0.332	0.318	0.307	0.310	0.290	0.281			
0.6	0.368	0.359	0.345	0.334	0.336	0.317	0.308	0.295		
0.8	0.384	0.375	0.361	0.350	0.356	0.333	0.324	0.311	0.303	
1.0	0.398	0.389	0.375	0.364	0.368	0.347	0.338	0.325	0.317	0.301
1.25		0.403	0.389	0.378	0.382	0.361	0.352	0.339	0.331	0.315
1.5		0.414	0.400	0.389	0.393	0.372	0.363	0.350	0.342	0.326
2.0					0.411	0.391	0.382	0.369	0.361	0.345
2.5					0.425	0.405	0.396	0.383	0.375	0.359
3.0					0.436	0.416	0.406	0.394	0.386	0.370

表 7-4 鋼導綫的內電抗 x''
(單位: 歐/公里)

[illegible]

表 7-5 鋼導線的電阻值
(單位: 歐/公里)

[illegible]

表 7-6 架空鋼芯鋁綫的電納值 b_0
(單位: 10^{-8} 莫/公里)

導 綫 牌 號	LG-35	LG-50	LG-70	LG-95	LG-120	LG-150	LG-185	LG-240
計算直徑(毫米)	8.3	9.9	11.7	13.9	15.3	17.0	19.1	21.5
幾何均距(米)								
2.0	2.83	2.91						
2.5	2.73	2.81						
3.0	2.65	2.72	2.79	2.87	2.92	2.97	3.03	3.10
3.5	2.59	2.66	2.73	2.81	2.85	2.90	2.96	3.02
4.0	2.54	2.61	2.68	2.75	2.79	2.85	2.90	2.96
4.5	2.49	2.56	2.62	2.69	2.74	2.79	2.84	2.89
5.0	2.46	2.52	2.58	2.65	2.69	2.74	2.82	2.85
5.5	2.43	2.48	2.54	2.61	2.67	2.70	2.74	2.80
6.0								2.76

每公里綫路的電納由下式得出:

$$b_0 = \frac{7.58}{\lg \frac{2D_{p.1}}{d}} 10^{-8}, \text{ 莫/公里} \quad (7-8)$$

式中符合同式(7-3)。

l 公里綫路的電納為:

$$B = b_0 l \quad (7-9)$$

鋼芯鋁綫每公里的電納值 b_0 , 可以从表7-6查出。

2. 變壓器的等值圖

在进行电气計算时, 一般忽略變壓器的激磁功率。變壓器簡化的等值阻抗圖如图 7-2 和图 7-3 所示。如果需要考虑變壓器的激磁功率, 可以把它作为負荷一样看待, 并放在等值器的前面。

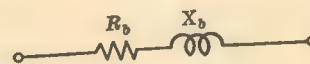


图 7-2 雙綫卷變壓器等值阻抗圖

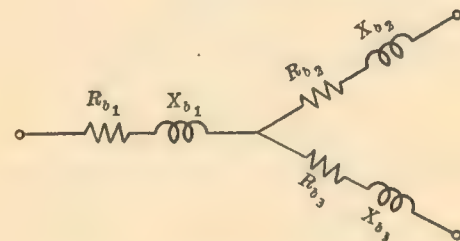


图 7-3 三綫卷變壓器等值阻抗圖

(1) 雙綫卷變壓器的阻抗計算

1) 电阻 R_b 的計算

$$R_b = \frac{\Delta P_{d.1} \cdot U^2 \cdot 10^3}{W_{s.d}^2}, \text{ 欧} \quad (7-10)$$

式中 $\Delta P_{d.1}$ ——變壓器在額定負荷下的短路損耗, (瓩);

U ——變壓器的主接头电压, (千伏);

$W_{e.d}$ ——变压器的额定容量, (千伏安)。

如果求三相变压器的 R_b , 则 $\Delta P_{d.1}$ 、 $W_{e.d}$ 是对三相而言的, U 是线电压。单相变压器的 R_b , 则 $\Delta P_{d.1}$ 、 $W_{e.d}$ 是对单相而言的, U 是相电压。

2) 电抗 X_b 的计算

$$X_b = \frac{U_x \% U^2 \cdot 10}{W_{e.d}} \text{ 欧} \quad (7-11)$$

式中 $U_x \%$ ——短路电压的无功分量, 以百分数表示;

$$U_x \% = \sqrt{(U_{d.1} \%)^2 - (U_R \%)^2} \quad (7-12)$$

$U_{d.1} \%$ ——变压器短路电压占额定电压的百分数;

$U_R \%$ ——短路电压有功分量以百分数表示。

应该指出 $U_R \%$ 在数值上等于变压器的短路损耗对额定容量的百分数, 即

$$U_R \% = \frac{\Delta P_{d.1}}{W_{e.d}} 100 \% = \Delta P_{d.1} \% \quad (7-13)$$

对于1000千伏安以上变压器, $U_x \% \approx U_{d.1} \%$ 。

(2) 三卷变压器的阻抗计算

1) 电阻 R_b 的计算

如果三卷变压器每个线卷的容量比各为100/100/100, 则

$$R_{b(100)} = \frac{\Delta P_{d.1} U^2 \cdot 10^3}{2 W_{e.d}^2} \quad (7-14)$$

如果一个线卷的容量只有66.7%, 则该线卷电阻为

$$R_{b(66.7)} = \frac{100}{66.7} R_{b(100)} = 1.5 R_{b(100)} \quad (7-15)$$

2) 电抗 X_b 的计算

可以利用公式(7-11)求 X_b , 此时 $U_x \%$ 的计算如下:

因为三卷变压器的 $U_x \% \approx U_{d.1} \%$, 所以

$$\left. \begin{aligned} U_{x1} \% &= \frac{U_{d.1(1-2)} \% + U_{d.1(1-3)} \% - U_{d.1(2-3)} \%}{2} \\ U_{x2} \% &= U_{d.1(1-2)} \% - U_{x1} \% \\ U_{x3} \% &= U_{d.1(1-3)} \% - U_{x1} \% \end{aligned} \right\} (7-16)$$

将 $U_{x1} \%$, $U_{x2} \%$ 和 $U_{x3} \%$ 分别代入公式(7-11)可得 X_{b1} 、 X_{b2} 和 X_{b3} 。

变压器的参数参见第八章表8-15至表8-19。对于SJ₁型, SFL型和SFSL型变压器, 阻抗值已经计算出来, 见表8-15至表8-17。

7-2 架空线路和变压器中功率损失和电能损失的计算

架空线路和变压器中功率损失和电能损失是根据图7-1、图7-2和图7-3的等值图进行计算的。

35千伏及以下电压的线路不计算电容功率。但在110千伏线路中应该考虑它的影响。

在下面的计算公式中 (包括下节电压计算的公式), 要用到 P 、 Q 、 I 、 U 等符号。 P 、 Q 和 I 系指流过等值图中 R 、 X 的功率和电流; U 是指流过功率为 P 及 Q 的那一点的电压。如果 P 及 Q 为受端功率时, U 是受端电压; P 及 Q 为送端功率时, U 是送端电压。但在规划中, U 常用线路额定电压来代替, 这样虽然会使计算带来一定的误差 (通常是允许的), 但是便于计算。本节和下节所附表格中计算数字均用线路额定电压计算出来的。

1. 架空线路的功率损失

(1) 有功功率损失

有功功率损失可由下式计算:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R \cdot 10^3 = \frac{P^2}{U^2 \cos^2 \varphi} R \cdot 10^3, \text{ 瓦} \quad (7-17)$$

(2) 无功功率损失

无功功率损失可由下式计算:

$$\Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} X \cdot 10^3 = \frac{P^2}{U^2 \cos^2 \varphi} X \cdot 10^3, \text{ 千乏} \quad (7-18)$$

式中 P 、 Q ——线路有功功率和无功功率, 分别以千瓦和兆乏

表示;

U ——綫电压, (千伏);

R, X ——綫路的电阻和电抗, (欧)。

(3) 电容功率

綫路电容产生的功率称为电容功率。在图7-1的等值图中, 綫路一侧的电容功率由下式得出:

$$Q = \frac{B}{2} U^2 \cdot 10^3, \text{ 千乏} \quad (7-19)$$

式中 B ——綫路电纳, (莫);

U ——綫电压, (千伏)。

(4) 鋼导綫的功率损失

由于鋼导綫的电阻及电抗和通过的电流有关, 所以功率损失计算須用下面公式:

$$\Delta P = 3I^2 R \cdot 10^{-3}, \text{ 瓩} \quad (7-20)$$

$$\Delta Q = 3I^2 X \cdot 10^{-3}, \text{ 千乏} \quad (7-21)$$

式中 I ——綫路流过电流, (安);

R, X ——鋼导綫的电阻及电抗, (欧)。

(5) 功率损失系数

为了简化计算, 我們利用功率损失系数这一概念, 并把它写在表7-11到表7-18中, 表中的 X_0 值是根据通常采用的綫間距离求得的。

功率损失系数定义如下:

1) 对于銅鋁架空綫路

$$\text{有功功率损失系数 } x_{\Delta P} = \frac{10^3}{U^2 \cos^2 \varphi} r_0, \quad \text{瓩/千瓩}^2\text{-公里} \quad (7-22)$$

$$\text{无功功率损失系数 } x_{\Delta Q} = \frac{10^3}{U^2 \cos^2 \varphi} x_0, \quad \text{千乏/千瓩}^2\text{-公里} \quad (7-23)$$

$$\text{綫路电容功率系数 } x_Q = \frac{b_0}{2} U^2 \cdot 10^3, \text{ 千乏/公里} \quad (7-24)$$

对于鋼导綫:

$$\text{有功功率损失系数 } x'_{\Delta P} = 3I^2 r_0 \cdot 10^{-3}, \text{ 瓩/公里} \quad (7-25)$$

$$\text{无功功率损失系数 } x'_{\Delta Q} = 3I^2 x_0 \cdot 10^{-3}, \text{ 千乏/公里} \quad (7-26)$$

利用这些系数和公式(7-17)至公式(7-21), 可使计算綫路功率损失的公式简单化。

2) 对銅鋁架空綫路

$$\Delta P = P^2 x_{\Delta P}, \text{ 瓩} \quad (7-27)$$

$$\Delta Q = P^2 x_{\Delta Q}, \text{ 千乏} \quad (7-28)$$

$$\text{綫路电容功率 } Q = x_Q l, \text{ 千乏} \quad (7-29)$$

3) 对鋼导綫

$$\Delta P = x'_{\Delta P} l, \text{ 瓩} \quad (7-30)$$

$$\Delta Q = x'_{\Delta Q} l, \text{ 千乏} \quad (7-31)$$

以上公式中 l 表示綫路长度, 以公里表示。

各项系数值列在表7-7至表7-14中。

2. 变压器的功率损失

(1) 有功功率损失的計算

$$\Delta P_b = \frac{P^2 + Q^2}{W_{e.s}^2} \Delta P_{d.s} + \Delta P_{k.s}, \text{ 瓩} \quad (7-32)$$

$$\text{或 } \Delta P_b = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R_b \cdot 10^3 + \Delta P_{k.s}, \text{ 瓩} \quad (7-33)$$

(2) 无功功率损失的計算

$$\Delta Q_b = \frac{P^2 + Q^2}{W_{e.s}^2} \Delta Q_{d.s} + \Delta Q_{k.s}, \text{ 千乏} \quad (7-34)$$

$$\text{或 } \Delta Q_b = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} X_b \cdot 10^3 + \Delta Q_{k.s}, \text{ 千乏} \quad (7-35)$$

式中 P, Q ——变压器通过的有功及无功負荷, 分別以千瓩及兆乏表示;

$W_{e.s}$ ——变压器的額定容量, (兆伏安);

U ——綫間电压, (千伏);

R_b, X_b ——变压器的电阻及电抗, (欧);

$\Delta P_{k.e.}, \Delta Q_{k.e.}$ ——变压器的空载有功损失和空载无功损失，可由表查得，分别以瓩和千乏表示；

$\Delta P_{d.1}, \Delta Q_{d.1}$ ——变压器的短路有功损失及短路无功损失，可由表查得，分别以瓩及千乏表示；

$$\Delta Q_{k.e.} = \frac{W_{e.d} I_{k.e.} \%}{100}, \text{千乏} \quad (7-36)$$

$$\Delta Q_{d.1} = \sqrt{\left(\frac{U_{d.1} \% W_{e.d}}{100} \right)^2 - \Delta P_{d.1}^2}, \text{千乏} \quad (7-37)$$

式中 $I_{k.e.} \%$ 和 $U_{d.1} \%$ ——分别为空载电流和短路电压的百分数，可从产品目录中查得；

$W_{e.d}$ 和 $\Delta P_{d.1}$ ——分别为变压器额定容量和短路损失，分别以千伏安和瓩表示。

当变压器容量在1000千伏安以上时

$$\Delta Q_{d.1} = \frac{U_{d.1} \% W_{e.d}}{100} \quad (7-38)$$

(3) 电能损失 ΔN

$$\Delta N = \Delta P \tau, \text{度} \quad (7-39)$$

式中 ΔP ——有功功率损失，(瓩)；

τ ——损耗小时，它与最大负荷年利用小时 T 有关，如图7-4所示。

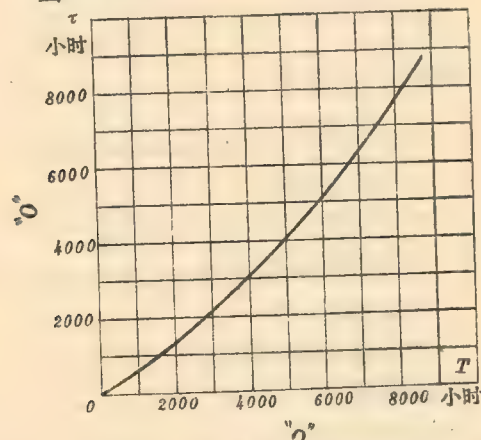


图 7-4 损耗小时 τ 和最大负荷利用小时 T 关系

表 7-7 380 伏三相架空线路功率损失系数表

导 线 牌 号	导 线 电 阻 (欧/公里)	cos φ				
		0.85	0.80	0.75	0.70	0.65
有功功率损失系数(10^{-3} 瓩/千瓩 ² ·公里)						
T-4	4.65	44.6	50.3	57.2	65.7	76.2
T-6	3.06	29.3	33.1	37.7	43.2	50.2
T-10	1.84	17.6	19.9	22.7	26.0	30.2
T-16	1.20	11.5	13.0	14.8	17.0	19.7
T-25	0.74	7.09	8.01	9.11	10.5	12.1
T-35	0.54	5.18	5.84	6.65	7.63	8.85
L-16	1.96	18.8	21.2	24.1	27.7	32.1
L-25	1.27	12.2	13.7	15.6	18.0	20.8
L-35	0.91	8.72	9.85	11.2	12.9	14.9
L-60	0.63	6.04	6.82	7.76	8.90	10.3
无功功率损失系数(10^{-3} 千乏/千瓩 ² ·公里)						
T-4	0.429	4.11	4.64	5.28	6.06	7.03
T-6	0.416	3.99	4.50	5.12	5.88	6.82
T-10	0.400	3.83	4.33	4.92	5.65	6.56
T(L)-16	0.376	3.60	4.07	4.63	5.31	6.16
T(L)-25	0.363	3.48	3.93	4.47	5.13	5.95
T(L)-35	0.352	3.37	3.81	4.33	4.97	5.77
t-50	0.341	3.27	3.61	4.20	4.82	5.59

注：利用本表时，公式(7-27)和(7-28)中 P 的单位是瓩。

表 7-8 6 千伏三相架空线路功率损失系数表

导线牌号	导线电阻 (欧/公里)	cos φ				
		0.85	0.80	0.75	0.70	0.65
有功功率损失系数(瓦/千瓩 ² -公里)						
L-16	1.96	75.3	85.1	96.8	111.0	129
L-25	1.27	48.8	55.1	62.7	72.0	83.5
L-35	0.91	35.0	39.5	44.9	51.6	59.8
L-50	0.63	24.2	27.3	31.1	35.7	41.4
L-70	0.45	17.3	19.5	22.2	25.5	29.6
L-95	0.33	12.7	14.3	16.3	18.7	21.7
L-120	0.27	10.4	11.7	13.3	15.3	17.8
无功功率损失系数(千乏/千瓩 ² -公里)						
L-16	0.398	15.3	17.7	19.7	22.6	26.2
L-25	0.385	14.8	16.7	19.0	21.8	25.3
L-35	0.374	14.4	16.2	18.5	21.2	24.6
L-50	0.363	14.0	15.8	17.9	20.6	23.9
L-70	0.349	13.4	15.2	17.2	19.8	22.9
L-95	0.339	13.0	14.7	16.7	19.2	22.3
L-120	0.332	12.8	14.4	16.4	18.8	21.8

表 7-9 10 千伏三相架空线路功率损失系数表

导 线 牌 号	导 线 电 阻 (欧/公里)	cos φ				
		0.85	0.80	0.75	0.70	0.65
有功功率损失系数(瓦/千瓩 ² -公里)						
L-16	1.96	27.1	30.6	34.9	40.0	46.4
L-25	1.27	17.6	19.9	22.6	25.9	30.1
L-35	0.91	12.6	14.2	16.2	18.6	21.5
L-50	0.63	8.72	9.85	11.2	12.9	14.9
L-70	0.45	6.23	7.03	8.00	9.18	10.7
L-95	0.33	4.57	5.16	5.87	6.73	7.81
L-120	0.27	3.74	4.22	4.80	5.51	6.39
无功功率损失系数(千乏/千瓩 ² -公里)						
L-16	0.398	5.51	6.22	7.08	8.12	9.42
L-25	0.385	5.33	6.02	6.85	7.85	9.11
L-35	0.374	5.18	5.85	6.65	7.63	8.85
L-50	0.363	5.02	5.67	6.45	7.41	8.59
L-70	0.349	4.80	5.42	6.17	7.08	8.21
L-95	0.339	4.69	5.30	6.03	6.92	8.02
L-120	0.332	4.60	5.19	5.90	6.77	7.86

表 7-10 35千伏三相架空线路功率损失系数表

表 7-10 35 千伏三相架空线路功率损失系数表						
导 线 牌 号	导 线 电 阻 (欧/公里)	cos φ				电 容 功 率 (千乏/公里)
		0.85	0.8	0.75	0.7	
有功功率损失系数(瓦/千瓩 ² -公里)						
GL-35	0.91	1.03	1.16	1.32	1.52	3.14
GL-50	0.63	0.712	0.804	0.914	1.05	3.22
GL-70	0.45	0.509	0.574	0.653	0.75	3.32
GL-95	0.33	0.373	0.421	0.479	0.55	3.40
GL-120	0.27	0.305	0.345	0.392	0.45	3.45
GL-150	0.21	0.237	0.268	0.305	0.35	3.50
GL-185	0.17	0.192	0.217	0.247	0.283	3.57
无功功率损失系数(千乏/千瓩 ² -公里)						
GL-35	0.432	0.488	0.551	0.627	0.72	
GL-50	0.421	0.476	0.537	0.611	0.701	
GL-70	0.411	0.464	0.524	0.596	0.685	
GL-95	0.400	0.452	0.51	0.58	0.665	
GL-100	0.394	0.445	0.503	0.572	0.656	
GL-150	0.387	0.437	0.494	0.562	0.645	
GL-185	0.380	0.429	0.485	0.551	0.633	

表 7-11 60千伏三相架空线路功率损失系数表

导 线 牌 号	导 线 电 阻 (欧/公里)	cos φ				电 容 功 率 (千乏/公里)
		0.9	0.85	0.8	0.75	
有功功率损失系数(10 ⁻³ 瓦/千瓦 ² -公里)						
GL-35	0.91	312	350	395	449	9.06
GL-50	0.63	216	242	273	311	9.29
GL-70	0.45	154	173	195	222	9.50
GL-95	0.33	113	127	143	163	9.75
GL-120	0.27	92.6	104	117	133	9.90
GL-150	0.21	72.0	80.7	91.1	104	10.1
GL-185	0.17	58.3	65.4	73.8	84.0	10.3
无功功率损失系数(10 ⁻³ 千乏/千瓦 ² -公里)						
GL-35	0.438	150	168	190	216	
GL-50	0.428	147	165	186	211	
GL-70	0.420	144	162	182	207	
GL-95	0.409	140	157	178	202	
GL-120	0.403	138	155	175	199	
GL-150	0.396	136	152	172	196	
GL-185	0.389	133	150	169	192	

表 7-12 110千伏三相架空线路功率损失系数表

表 7-12 110千伏三相架空线路功率损失系数						
导 线 牌 号	导 线 电 阻 (欧/公里)	cos φ				电 容 功 率 (千乏/公里)
		0.9	0.85	0.8	0.75	
有功功率损失系数(10 ⁻³ 瓦/千乏 ² ·公里)						
GL-50	0.63	64.3	72.1	81.3	92.6	30.5
GL-70	0.45	45.9	51.5	58.1	66.1	31.2
GL-95	0.33	33.7	37.8	42.6	48.5	32.0
GL-120	0.27	27.5	30.9	34.9	39.7	32.6
GL-150	0.21	21.4	24.0	27.1	30.9	33.1
GL-185	0.17	17.3	19.5	22.0	25.0	33.8
GL-240	0.13	13.3	14.9	16.8	19.1	34.4
无功功率损失系数(10 ⁻³ 千乏/千乏 ² ·公里)						
GL-50	0.435	44.4	49.8	56.2	63.9	
GL-70	0.429	43.8	49.1	55.4	63.0	
GL-95	0.418	42.6	47.8	54.0	61.4	
GL-120	0.412	42.0	47.1	53.2	60.5	
GL-150	0.405	41.3	46.3	52.3	59.5	
GL-185	0.398	40.6	45.5	51.4	58.5	
GL-240	0.391	39.9	44.7	50.5	57.4	

表 7-13 架空铜导线有功功率损失系数
(单位: 10⁻³瓦/公里)

导线号 电 流(安培)	G-φ4	G-φ5	G-25	G-35	G-50
1	35.4		15.8	11.0	8.25
2	150	100	63.2	43.9	33.0
3	362	257	143	99.1	74.3
4	686	518	254	117	132
5	1160	923	399	278	206
6	1780	1490	578	401	297
7	2540	2210	789	548	404
8	3460	2960	1040	720	530
9	4400	3690	1320	916	673
10	5430	4380	1650	1140	834
11	6530	5260	2030	1400	1010
12	7730	6220	2460	1680	1200
13	8970	7200	2930	1990	1420
14	10400	8230	3460	2320	1650
15	11700	9180	4030	2710	1890
16			4680	3160	2160
17			5370	3620	2450
18			6230	4140	2750
19			7160	4670	3080
20			8040	5280	3420
21					3800
22					4200
23					4620
24					5060
25					5530

表 7-14 架空鋼导綫无功功率损失系数表(6~10千伏)
(单位: 10^{-3} 千乏/公里)

綫号 电 流(安培)	G-φ4	G-φ5	G-25	G-35	G-50
1	5.81		2.75	2.05	1.73
2	57.3	47.5	11.1	8.45	7.02
3	224	185	25.3	19.3	16.1
4	485	407	46.3	34.8	28.6
5	892	756	75.4	56.6	45.4
6	1390	1250	113	83.6	66.4
7	2000	1860	158	118	90.4
8	2800	2630	220	160	120
9	3570	3280	295	210	154
10	4410	3840	392	271	194
11	5260	4570	503	343	238
12	6180	5350	633	425	287
13	7100	6180	783	519	342
14	8110	6960	956	626	403
15	9250	2950	1150	745	469
16			1360	892	545
17			1580	1060	627
18			1830	1240	716
19			2110	1450	813
20			2440	1670	918
21					1030
22					1150
23					1280
24					1420
25					1570

7-3 架空綫路和变压器电压损失的計算

本节所用等值图, 符号和假設和上一节一样。

在电压损失的計算公式中只考虑电压降的纵分量, 沒有考虑它的横分量。在规划設計的一般电气計算中, 这样的假設是允許的。

1. 架空綫路的电压损失

架空綫路电压损失可由下式計算:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U}, \text{ 千伏} \quad (7-40)$$

式中 P, Q ——綫路輸送有功功率和无功功率, 以千瓦和兆乏表示;

R, X ——綫路电阻和电抗(欧);

U ——綫路电压, (千伏)。

由于 $Q = P \tan \varphi$, $R = r_0 l$, $X = x_0 l$, 代入上式得

$$\Delta U = \frac{r_0 + x_0 \tan \varphi}{U} Pl = x_{\Delta U} Pl, \text{ 伏} \quad (7-41)$$

式中 $x_{\Delta U}$ ——电压损失系数, $x_{\Delta U} = \frac{r_0 + x_0 \tan \varphi}{U}$, (伏/瓩-公里);

P ——綫路有功功率, (瓩)。

如 $x_{\Delta U}$ 以千伏/千瓦-公里表示时, P 的单位应为千瓦, ΔU 的单位为千伏。各种电压的电压损失系数列在表 7-15 和表 7-16 中。

2. 鋼导綫的电压损失

鋼导綫的电压损失可由下式計算:

$$\Delta U = \sqrt{3} I (R \cos \varphi + X \sin \varphi), \text{ 伏} \quad (7-42)$$

式中 I ——(安)。

令 $x'_{\Delta U} = \sqrt{3} I (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)$ 伏/公里表示鋼导綫的电压损失系数, 則它的电压损失, 可由下式計算。

$$\Delta U = x'_{\Delta U} l, \text{ 伏} \quad (7-43)$$

6~10 千伏鋼导綫的电压损失系数列在表 7-17 至表 7-21 中。

3. 变压器的电压损失

变压器的电压损失可以按公式(7-40)进行,也可以按下式进行计算:

$$\Delta U\% = \frac{P}{W_{e.d}} U_R\% + \frac{Q}{W_{e.d}} U_x\% \quad (7-44)$$

式中 $W_{e.d}$ ——变压器的额定容量;

$U_R\%$ 与 $U_x\%$ ——变压器短路电压的有功分量和无功分量,它们的计算方法已在本章第一节阐述过。

用公式(7-44)算出来的数字是电压损失的百分数,乘上线路电压,就可得电压损失的实际值。

表 7-15 0.38~10千伏三相架空线路电压损失系数
(单位: 伏/瓩-公里)

电压 (千伏)	导线牌号	阻抗(欧/公里)		cosφ				
		电阻	电抗	0.85	0.8	0.75	0.7	0.65
0.38	L-16	1.96	0.376	5.77	5.90	6.03	6.17	6.32
	L-25	1.27	0.363	3.93	4.06	4.19	4.32	4.46
	L-35	0.91	0.352	2.97	3.09	3.21	3.34	3.48
	L-50	0.63	0.341	2.21	2.33	2.45	2.57	2.71
	T-4	4.65	0.429	12.9	13.1	13.2	13.4	13.6
	T-6	3.06	0.416	8.73	8.87	9.02	9.17	9.33
	T-10	1.84	0.400	5.50	5.63	5.77	5.92	6.07
	T-16	1.20	0.376	3.77	3.90	4.03	4.17	4.32
	T-25	0.74	0.363	2.54	2.66	2.79	2.92	3.06
	T-35	0.54	0.352	2.00	2.12	2.24	2.37	2.50
6	L-16	1.96	0.398	0.368	0.376	0.385	0.394	0.404
	L-25	1.27	0.385	0.251	0.260	0.268	0.277	0.287
	L-35	0.91	0.375	0.190	0.199	0.207	0.215	0.225
	L-50	0.63	0.363	0.143	0.150	0.158	0.167	0.176
	L-70	0.45	0.349	0.111	0.119	0.126	0.134	0.143
	L-95	0.33	0.339	0.090	0.0977	0.105	0.113	0.121
	L-120	0.27	0.332	0.0793	0.0865	0.0938	0.101	0.110
10	L-16	1.96	0.398	0.221	0.226	0.231	0.237	0.243
	L-25	1.27	0.385	0.151	0.156	0.161	0.166	0.172
	L-35	0.91	0.375	0.114	0.119	0.124	0.129	0.135
	L-50	0.63	0.363	0.0855	0.0902	0.095	0.100	0.105
	L-70	0.45	0.349	0.0666	0.0712	0.0758	0.0806	0.0858
	L-95	0.33	0.339	0.0540	0.0584	0.0629	0.0676	0.0726
	L-120	0.27	0.332	0.0476	0.0519	0.0563	0.0609	0.0658

表 7-16 35~110千伏三相架空线路电压损失系数

(单位: 10^{-3} 千伏/千瓩-公里)

电压 (千伏)	导线牌号	阻抗(欧/公里)		cosφ				
		电阻	电抗	0.90	0.85	0.8	0.75	0.7
35	GL-35	0.91	0.432		33.7	35.3	36.9	38.6
	GL-50	0.63	0.421		25.5	27.0	28.6	30.3
	GL-70	0.45	0.411		20.1	21.7	23.2	24.8
	GL-95	0.33	0.400		16.5	18.0	19.5	21.1
	GL-120	0.27	0.394		14.7	16.2	17.6	19.2
	GL-150	0.21	0.387		12.9	14.3	15.8	17.3
	GL-185	0.17	0.380		11.6	13.0	14.4	15.9
60	GL-35	0.91	0.438	18.7	19.7	20.6	21.6	
	GL-50	0.63	0.428	14.0	14.9	15.9	16.8	
	GL-70	0.45	0.420	10.9	11.8	12.8	13.7	
	GL-95	0.33	0.419	8.80	9.73	10.6	11.5	
	GL-120	0.27	0.413	7.75	8.66	9.54	10.4	
	GL-150	0.21	0.396	6.70	7.59	8.45	9.32	
	GL-180	0.17	0.389	5.97	6.85	7.70	8.42	
110	GL-50	0.63	0.439	7.64	8.18	8.69	9.22	
	GL-70	0.45	0.429	5.98	6.51	7.02	7.49	
	GL-95	0.33	0.418	4.84	5.36	5.85	6.35	
	GL-120	0.27	0.412	4.27	4.78	5.26	5.76	
	GL-150	0.21	0.405	3.69	4.19	4.67	5.16	
	GL-180	0.17	0.398	3.30	3.79	4.26	4.74	

表 7-17 G-φ4架空钢导线电压损失系数(6~10千伏)
(单位: 伏/公里)

电流 (安培)	阻抗(欧/公里)		cosφ			
	电阻	电抗	0.8	0.7	0.65	0.6
1	11.8	1.94	18.4	16.7	15.8	15.0
2	12.5	4.78	44.6	40.7	40.7	39.2
3	13.4	8.30	81.9	79.5	78.0	76.3
4	14.3	10.1	121	119	118	115
5	15.5	11.9	169	168	166	163
6	16.5	12.9	218	216	208	210
7	17.3	13.6	267	265	262	258
8	18.0	14.6	321	319	316	312
9	18.1	14.7	363	361	357	353
10	18.1	14.7	403	401	397	392
11	18.0	14.5	440	437	433	427
12	17.9	14.3	476	473	468	461
13	17.7	14.1	509	506	500	493
14	17.5	13.9	542	538	532	524
15	17.3	13.7	573	569	562	554

表 7-18 G- ϕ 5 架空鋼導綫电压損失系数(6~10 千伏)

(单位: 伏/公里)

电流 (安培)	阻 抗 (欧/公里)		cos φ			
	电 阻	电 抗	0.8	0.7	0.65	0.6
1						
2	8.4	3.96	31.5	30.2	29.3	28.4
3	9.5	6.83	60.8	59.9	59.0	58.0
4	10.8	8.48	95.1	94.3	93.2	91.9
5	12.3	10.1	138	137	136	133
6	13.8	11.6	187	186	185	182
7	15.0	12.7	238	237	235	232
8	15.4	13.7	284	285	283	280
9	15.2	13.5	316	316	314	310
10	14.6	12.8	335	335	332	329
11	14.5	12.7	366	366	363	359
12	14.4	12.5	395	395	392	387
13	14.2	12.3	422	421	418	413
14	14.0	12	446	445	442	437
15	13.6	11.8	467	466	462	457

表 7-19 G-25 架空鋼導綫电压損失系数(6~10 千伏)

(单位: 伏/公里)

电流 (安培)	阻 抗 (欧/公里)		cos φ			
	电 阻	电 抗	0.8	0.70	0.65	0.60
1						
2	5.25	0.915	8.22	7.49	7.11	6.72
3	5.27	0.925	16.5	15.1	14.3	13.5
4	5.28	0.935	24.8	22.7	21.5	20.3
5	5.30	0.965	33.4	30.4	28.9	27.4
6	5.32	1.01	42.0	38.4	36.5	34.6
7	5.35	1.05	50.9	46.6	44.3	42.0
8	5.37	1.08	59.8	54.8	52.2	49.4
9	5.40	1.15	69.3	63.6	60.6	57.5
10	5.45	1.22	79.2	72.9	69.5	66.1
11	5.50	1.31	89.7	82.7	79.0	75.2
12	5.60	1.39	101	93.4	89.3	85.0
13	5.69	1.47	113	105	100	95.4
14	5.78	1.55	125	116	111	106
15	5.88	1.63	137	128	122	117
16	5.97	1.71	151	140	135	129
17	6.09	1.77	164	153	147	140
18	6.19	1.83	178	166	159	152
19	6.41	1.89	195	182	175	167
20	6.60	1.95	212	198	190	182
21	6.70	2.01	227	212	203	195

表 7-20 G-35 架空鋼導綫电压損失系数(6~10 千伏)

(单位: 伏/公里)

电流 (安培)	阻 抗 (欧/公里)		cos φ			
	电 阻	电 抗	0.8	0.70	0.65	0.60
1						
2	3.66	0.684	5.78	5.28	5.01	4.75
3	3.66	0.704	11.6	10.6	10.1	9.55
4	3.67	0.714	17.5	16.0	15.2	14.4
5	3.69	0.724	23.4	21.5	20.4	19.3
6	3.70	0.754	29.5	27.1	25.8	24.4
7	3.71	0.774	35.6	32.7	31.1	29.5
8	3.73	0.804	42.0	38.6	36.8	34.9
9	3.75	0.834	48.5	44.6	42.5	40.4
10	3.77	0.864	55.0	50.7	48.4	46.0
11	3.80	0.904	62.0	57.2	54.6	52.0
12	3.86	0.944	69.5	64.3	61.4	58.5
13	3.89	0.984	77.0	71.3	68.1	64.9
14	3.93	1.02	84.6	78.4	75.0	71.5
15	3.94	1.06	91.7	85.1	81.5	77.8
16	4.02	1.10	101	93.7	90.0	85.7
17	4.11	1.16	110	103	98.4	94.1
18	4.18	1.22	120	112	107	102
19	4.26	1.28	130	122	117	112
20	4.32	1.34	140	131	126	120
21	4.40	1.39	151	141	136	130

表 7-21 G-50 架空鋼導綫电压損失系数(6~10 千伏)

(单位: 伏/公里)

电流 (安培)	阻 抗 (欧/公里)		cos φ			
	电 阻	电 抗	0.8	0.70	0.65	0.60
1						
2	2.75	5.75	4.40	4.04	3.85	3.65
3	2.75	5.85	8.83	8.11	7.73	7.33
4	2.75	5.95	13.3	12.2	11.6	11.0
5	2.75	5.95	17.7	16.3	15.5	14.7
6	2.75	6.05	22.3	20.5	19.6	18.6
7	2.75	6.15	26.7	24.5	23.4	22.2
8	2.76	6.25	31.1	28.6	27.3	25.9
9	2.77	6.35	35.8	32.9	31.4	29.8
10	2.78	6.45	40.4	37.3	35.5	33.8
11	2.78	6.55	45.2	41.6	39.7	37.8
12	2.78	6.65	49.8	45.9	43.9	41.7
13	2.78	6.75	54.6	50.4	48.1	45.8
14	2.79	6.85	59.3	54.8	52.3	49.8
15	2.80	6.95	64.2	59.3	56.6	53.9
16	2.80	7.09	69.1	63.9	61.0	58.1
17	2.81	7.23	74.1	68.5	65.5	62.4
18	2.82	7.37	79.1	73.2	70.0	66.8
19	2.83	7.51	84.4	78.2	74.9	71.4
20	2.84	7.65	89.6	83.1	79.5	75.8
21	2.85	7.79	94.8	87.9	84.2	80.3
22	2.87	7.93	100	93.1	89.2	85.1
23	2.89	8.07	106	98.7	94.5	90.2
24	2.91	8.21	112	104	99.7	95.0
25	2.93	8.35	118	109	105	100
26	2.95		124	115	110	105

7-4 例 題

例 1: 有 10 千伏三相架空綫路 2.5 公里, 輸送功率为 150 瓩, 功率因数 $\cos \varphi$ 为 0.7, 最大負荷利用小时 1500 小时, 試計算用 L-16 和 G-25 导綫时的綫路功率損失、电能損失和电压損失。

解: (1) 功率損失的計算

1) 导綫为 L-16 的功率損失

已知: $U=10$ 千伏, $\cos \varphi=0.7$, 查表 7-9 得 L-16 的功率損失系数:

$$x_{AP}=40(\text{瓩}/\text{千瓩}^2\text{-公里});$$

$$x_{AQ}=8.12(\text{千乏}/\text{千瓩}^2\text{-公里}).$$

代入公式 (7-27) (7-28) 得:

有功損失 $\Delta P=x_{AP}P^2l=40 \times 0.15^2 \times 2.5=2.25$ 瓩;

无功損失 $\Delta Q=x_{AQ}P^2l=8.12 \times 0.15^2 \times 2.5=0.456$ 千乏。

2) 导綫为 G-25 的功率損失

已知: $U=10$ 千伏, $\cos \varphi=0.7$, $P=150$ 瓩, 求得負荷电流

为:

$$I=\frac{P}{\sqrt{3}U\cos\varphi}=\frac{150}{\sqrt{3} \times 10 \times 0.7}=12.4 \text{ 安}.$$

再查表 7-13 和 7-14。由于表中所列电流值均为整数, 故用插入法求出功率損失系数:

$$x_{AP}=2.65 \text{ 瓩}/\text{公里};$$

$$x_{AQ}=0.69 \text{ 千乏}/\text{公里}.$$

代入公式 (7-30) 和 (7-31) 得功率損失为:

有功損失 $\Delta P=x_{AP}I^2l=2.65 \times 2.5=6.63$ 瓩;

无功損失 $\Delta Q=x_{AQ}I^2l=0.69 \times 2.5=1.73$ 千乏。

(2) 电能損失的計算

已知 $T_M=1500$ 小时, 由图 7-4 曲綫得 $\tau_M=900$ 小时。

1) 导綫为 L-16 的綫路年电能損失

代入公式 (7-39) 得

由公式 (7-39) 得 $\Delta N=\Delta P \tau=2.25 \times 900=2022$ 度。

2) 导綫为 G-25 的綫路电能損失

$$\Delta N \approx 6.63 \times 900=5960 \text{ 度}.$$

(3) 电压損失的計算

1) 导綫为 L-16 的綫路电压損失

已知 $U=10$ 千伏, $\cos \varphi=0.7$, 查表 7-15 得电压損失系数 $x_{AU}=0.237$ 千伏/千瓩-公里。

代入公式 (7-41), 得电压損失 $\Delta U=x_{AU}PL=0.237 \times 0.15 \times 2.5=0.089$ 千伏。

$$\text{电压損失百分值 } \Delta U\%=\frac{\Delta U}{U}100=\frac{0.089}{10} \times 100=0.89.$$

2) 导綫为 G-25 綫路的綫路电压損失

已知 $U=10$ 千伏, $I=12.4$ 安, $\cos \varphi=0.7$ 查表 7-19 用插入法得: $x_{AU}=109.4$ 伏/公里。

代入公式 (7-43) 得电压損失:

$$\Delta U=x_{AU}I^2l=109.4 \times 2.5=274 \text{ 伏}=0.274 \text{ 千伏}.$$

电压損失百分值为:

$$\Delta U\%=\frac{0.274}{10}100=2.74.$$

例 2: 有一台三相双卷 SJ₁-100/10 型降压变压器, 低压負荷为 80-j70.5 ($\cos \varphi=0.75$), 試計算变压器的阻抗, 功率損失和电压降。

解: (1) 查表 8-15 得 SJ₁-100/10 型变压器的短路損耗 $\Delta P_{d.1}=2.25$ 瓩, 短路电压 $\Delta U_{d.1}\%=4.5$, 利用公式 (7-10) 得变压器电阻为

$$R_b=\frac{2.25 \times 10^3 \times 10^3}{100^2}=22.5 \text{ 欧}.$$

由公式 (7-13) 得短路电压的有功分量为

$$U_R\%=\frac{2.25}{100}100=2.25.$$

將上值代入公式(7-12)得

$$U_a\% = \sqrt{4.5^2 - 2.25^2} = 3.89.$$

再將上值代入公式(7-11)得

$$X_b = \frac{3.89 \times 10^3 \times 10}{100} = 38.9 \text{ 欧}.$$

上面求得的数字同表8-15完全相符。

(2) 利用公式(7-32)至公式(7-35)即可求得变压器的功率损失。变压器的空载损失和空载电流的百分数由查表8-15得 $\Delta P_{k.0} = 0.66$ 瓩, $i_{k.0}\% = 7.5$ 。利用公式(7-36)得空载无功损失

$$\Delta Q_{k.0} = \frac{100}{100} \times 7.5 = 7.5 \text{ 千乏}.$$

从公式(7-33)得(注意单位)

$$\Delta P_b = \frac{0.08^2 + 0.0705^2}{10^3} \times 22.5 \times 10^3 + 0.66$$

$$= 2.56 + 0.66 = 3.22 \text{ 瓩};$$

$$\Delta Q_b = \frac{0.08^2 + 0.0725^2}{10^3} \times 38.9 \times 10^3 + 7.5$$

$$= 4.43 + 7.5 = 11.93 \text{ 千乏}.$$

(3) 利用公式(7-40)得电压损失

$$\Delta U = \frac{0.08 \times 22.5 + 0.0705 \times 38.9}{10} = 0.454 \text{ 千伏}.$$

如用额定电压的百分数表示:

$$\Delta U\% = \frac{0.454}{10} \times 100 = 4.54.$$

利用公式(7-44)也可得同样结果

$$\Delta U\% = \frac{80}{100} 2.25 + \frac{70.5}{100} 3.89 = 4.54.$$

7-5 电力网的潮流分布计算

设计电力网时需要计算潮流分布,有了潮流分布,就可算出电力网的电压水平和电能损失。规划中的潮流分布计算可以忽略

线路功率损失的影响,如有必要,再把功率损失加到计算出的潮流分布中去。

辐射形电力网的潮流分布计算是很方便的,例如在图7-5中线路bd及bc上的潮流显然分别为d点和c点的负荷。线路ab上的潮流则为b、c、d三点负荷的总和,即 $(P_b + P_c + P_d) - j(Q_b + Q_c + Q_d)$ 。

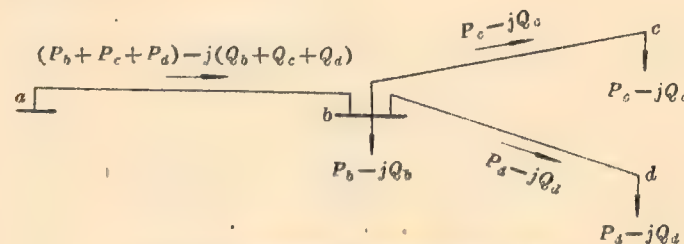


图7-5 辐射形电力网潮流分布计算图

环形电网的潮流计算,比较复杂。由于农村电力网中采用环形供电是很少的,这里是介绍只有一个环的电力网的计算公式。

为计算方便起见,将图7-6(a)的闭式电网展开成图7-6(b)的形状,即将供电电源点f分成二点f'及f''。在作供电规划时,导线截面通常是待求的未知数,潮流分布计算可用线路的长度来进行。从电源点流向a点的功率 W_{fa} (在图7-6(b)中是 $W_{f'a}$)等于

$$W_{fa} = \frac{W_c l_1 + W_d l_2 + W_e l_3 + W_b l_4 + W_a l_5}{l} \quad (7-45)$$

这个计算公式同力学中的杠杆定律相似, f'' 相当于杠杆的支点,负荷相当于重点,线路始端的功率 W_{fa} 相当于力点。如果负荷多于5个,计算公式按此原理类推。如果其中一点负荷点(例如点c)实际上是电源点,也就是点c向系统送电,则在公式7-45中, W_c 的前面应冠以负号。求电源点流向e点的线路功率时,可利用同样原理,此时 f' 变成支点, f'' 点成为力点。公式7-45的分子中, W_a 应乘 $f'a$ 之长度, W_b 应乘 $f'b$ 之长度,余此类推。如果计算出来的 W_{fa} 与 W_{fe} 之和等于全部负荷之和,证明计算的结果是正确的。

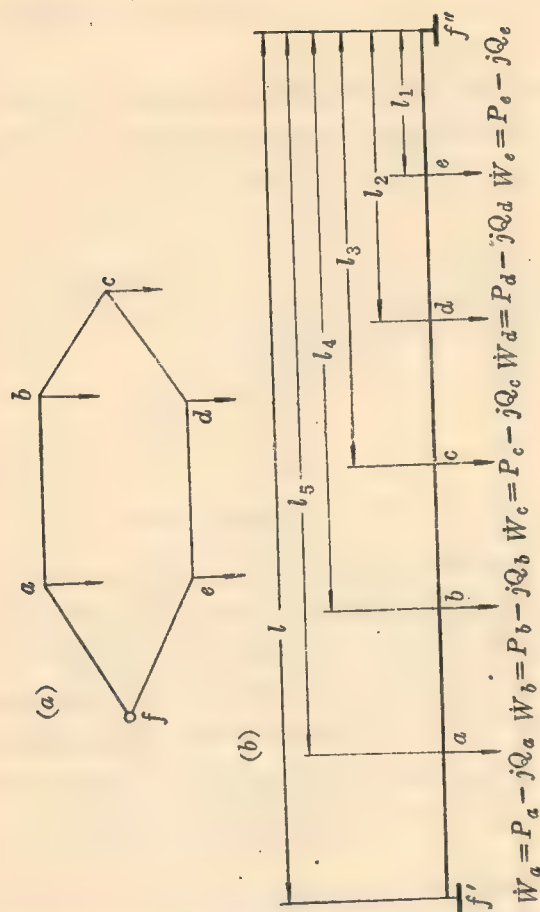


图 7-6 闭式网络接线图(a)及展开图(b)

如果已知线路的电阻和电抗，潮流分布可用和公式7-45完全相似的公式7-46进行概略的计算。

$$P_{fa} = \frac{P_e x_1 + P_d x_2 + P_c x_3 + P_b x_4 + P_a x_5}{x},$$

$$Q_{fa} = \frac{P_e r_1 + P_d r_2 + P_c r_3 + P_b r_4 + P_a r_5}{r}, \quad (7-46)$$

式中 $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r$ 和 $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x$ 相应于图7-6(b)中距离为 $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l$ 中的全部电阻和电抗。

环形电网潮流分布，用复数进行计算可得比较准确的结果，此时(原理同公式7-45)

$$\dot{W}_{fa} = \frac{\dot{W}_e \dot{Z}_1 + \dot{W}_d \dot{Z}_2 + \dot{W}_c \dot{Z}_3 + \dot{W}_b \dot{Z}_4 + \dot{W}_a \dot{Z}_5}{\dot{Z}}, \quad (7-47)$$

例：有一35千伏环形电网，负荷(千伏安)距离(公里)和导线截面如图7-7a所示，导线的几何均距为3米，试求其功率分布。

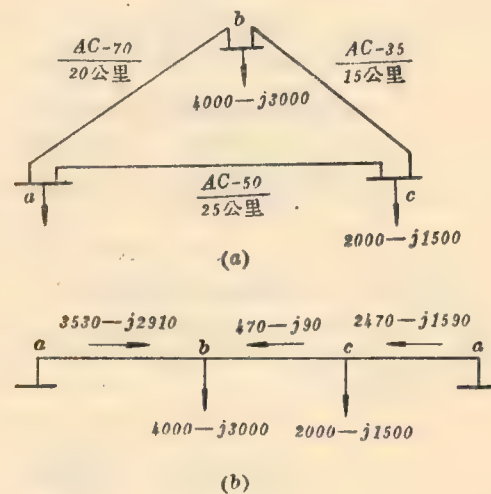


图 7-7

解：把环形电网展开成图7-7b的形式，查表7-1，得每段线路每公里阻抗值。

各线段阻抗为

$$Z_{ab} = (0.45 + j0.408)20 = 9 + j8.16,$$

$$Z_{bc} = (0.91 + j0.429)15 = 13.65 + j6.44,$$

$$Z_{ca} = (0.63 + j0.418)25 = 15.75 + j10.45.$$

利用公式7-46得

$$\begin{aligned} P_{ab} &= \frac{2000(10.45) + 4000(6.44 + 10.45)}{8.16 + 6.44 + 10.45} \\ &= \frac{20900 + 67560}{25.05} = 3530 \text{ 瓦}, \end{aligned}$$

$$Q_{ab} = \frac{1500(15.75) + 3000(15.75 + 13.65)}{9 + 13.65 + 15.75}$$

$$= \frac{23600 + 88200}{38.4} = 2910 \text{ 千乏.}$$

相似的可得

$$P_{ac} = \frac{4000(8.16) + 2000(8.16 + 6.44)}{25.05}$$

$$= \frac{32640 + 29200}{25.05} = 2470 \text{ 瓩,}$$

$$Q_{ac} = \frac{3000(9) + 1500(9 + 13.65)}{38.4}$$

$$= \frac{27000 + 34000}{38.4} = 1590 \text{ 千乏.}$$

$$\text{驗算: } P_{ab} + P_{ac} = 3530 + 2470 = 6000 \text{ 瓩,}$$

$$Q_{ab} + Q_{ac} = 2910 + 1590 = 4500 \text{ 千乏.}$$

負荷總計為 $4000 - j3000 + 2000 - j1500 = 6000 - j4500$
所以計算結果是正確的。

7-6 電力網的電壓調整

1. 概 述

由於電網內負荷的變動，引起用戶端電壓的變動。網絡內某一點電壓的實際值與網絡額定電壓值的代數差我們稱之為“電壓偏移”。電壓偏移一般以網絡額定電壓值的百分值表示，也可以用伏數表示。電壓偏移對用電設備的工作情況有直接的影響，如對照明的電燈，當網絡電壓為額定時，其功率、光通量及壽命均為100%，當電壓偏移為 $\pm 1\%$ 時，其功率變化 $\pm 1.5\%$ ，光通量變化 $\pm 3.5\%$ ，壽命變化 $\pm 13\%$ ，所以電壓過高，燈泡的壽命將大大減少，甚至燒毀。電壓過低則燈光發暗。同樣，由於電動機運行的轉矩與電壓的平方成正比，因此當電壓降低時，帶有恆定負荷的電動機可能停止運轉。當電壓升高時，電動機會發生過

熱，加速絕緣老化，影響使用壽命。

因此，用戶端的電壓偏移不能超出允許範圍。

2. 電力網允許的電壓偏移和電壓降

一般認為，在农村電力用戶用電設備端點上的電壓，不應當比電力網額定電壓高出7.5%，也不應該低於10%。在特殊情況下，例如农村電力網的個別偏遠地區，電壓水平可能較低。如改善這些少數點的電壓，需要花相當多的投資而且遠景負荷發展不大時，則用戶端電壓允許比額定電壓低15%。

在作农村供電規劃時，有時不大可能把用戶端電壓計算出來。為工作方便起見，常常按各級電力網的電壓降不超過表7-2中所列數值來進行設計。

表 7-2 各級電力網允許電壓降 $\Delta U\%$ 的百分值
(以電力網額定電壓作基準)

編號	電力網類別	$\Delta U\%$	備 注
1	由發電機直接供電的6~10千伏電力網	≤ 15	當由35(60)千伏與10(6)千伏二級電壓供電時，總電壓降不得超過15%
2	由變電所供電的6~10千伏電力網	≤ 10	
3	35~60千伏電力網	≤ 10	

上述電壓降是在發電機母綫或35(60)千伏電力綫路的送端電壓不隨負荷變化的情況下作出的，如果這些電壓能夠進行逆調壓，即在最小負荷時降低電壓，最大負荷時提高電壓，那麼可以根據逆調壓的數值，农村負荷變化與逆調壓方式的配合程度，適當增加允許電壓降。如果電力網的電壓降太大，不能保證用戶端點的電壓時，應該考慮裝設調壓裝置。

3. 調壓方式

在規劃中，應該首先考慮調整农村發電廠中發電機的電壓和

改变变压器的分接头来改善电力网的电压水平。如果采取这些措施后,仍然不能保证必要的电压水平,就需要采用调压设备。常用的调压设备有下列几种:

- (1) 在电力线路上串联电容器;
- (2) 采用带负荷调压变压器;
- (3) 采用加压调压器;
- (4) 在变电所或用户处装设并联电容。

4. 农村发电厂内发电电压的调整

调整发电机的电压有二种方式:

(1) 保持恒定电压,即不论负荷的如何变化,发电机的电压都保持不变;

(2) 采用逆调压,即随着负荷的增长发电机的电压也作适当的提高。

发电机电压的变化范围一般规定为不大于发电机额定电压的 $\pm 5\%$ (发电机的额定电压比电力网的额定电压要高5%,归算到网络的额定电压,其电压偏移范围约在 $+10\sim 0\%$ 之间)。

5. 变压器分接头的选择

改变变压器的分接头,就能提高或降低变压器二次侧的电压水平。例如,一个 $35\pm 2\times 2.5\%/11$ 千伏变压器,在空载情况下35千伏侧加一35千伏电压。如果这个电压加在35千伏这一主接头上,变压器的二次侧将出现11千伏电压;如果加在 $35+2\times 2.5$ 千伏这一分接头上,二次侧电压就为10.48千伏。恰当地选择分接头,就有可能获得需要的电压水平。

普通的变压器不能在带负荷情况下操作分接头。它将长期运行在一个分接头上,因此由于负荷昼夜变化引起的电压总偏差不会因分接头的选择而变化。这时选择分接头的目的,是当电压总偏差在允许范围内时保证变压器二次侧的电压水平(或电压偏差)在允许范围以内。当负荷作季节性变化时,电压水平可能有很大

的变化,这时必须把变压器暂时停止运行,另换一个合适的分接头。下面介绍变压器分接头的选择方法:

(1) 降压变压器分接头选择

降压变电所在最大和最小负荷时,变压器高压侧的实际电压分别为 U_1' 和 U_1'' ,最大和最小负荷时变压器中的电压损失分别为 $\Delta U'$ 和 $\Delta U''$;两种情况下变电所低压母线上要求的电压值为 U_2' 、 U_2'' ,高压分接头用 $U_{j,t}$ 表示,低压侧通常只有一个接头,用 $U_{d,y}$ 来表示它的电压,则在最大负荷和最小负荷时应该选择的相应的分接头为

$$U'_{j,t} = (U_1' - \Delta U_T') \frac{U_{d,y}}{U_2'}, \quad (7-48)$$

$$U''_{j,t} = (U_1'' - \Delta U_T'') \frac{U_{d,y}}{U_2''}, \quad (7-49)$$

$U'_{j,t}$ 和 $U''_{j,t}$ 通常是不等的,但对普通变压器,又不能在带负荷情况下变换分接头,因此采用它们的平均值($U_{j,t}$)作为应选择的分接头。

$$U_{j,t} = \frac{U'_{j,t} + U''_{j,t}}{2} \quad (7-50)$$

根据式7-50求出的 $U_{j,t}$,从变压器规范中选择一个最接近的标准分接头,然后按所选定的分接头加以校验。

(2) 发电厂升压变压器分接头选择

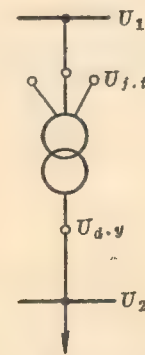


图 7-8

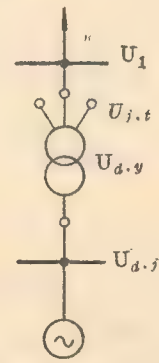


图 7-9

一般发电机的电压偏移在 $\pm 5\%$ 以内,当发电机经变压器接入电网时,不致因电网电压的要求而使发电机端的电压偏移超出允许的范围,故必需选择相当的变压器分接头加以配合。与上述降压变压器分接头选择原理相似,在最大与最小负荷情况下,变压器分接头的电压各为(见图7-9)

$$U'_{j,t} = (U_1' + \Delta U_T') \frac{U_{d,y}}{U_{d,i}}, \quad (7-51)$$

$$U''_{j,t} = (U_1'' + \Delta U_T'') \frac{U_{d,y}}{U_{d,i}}, \quad (7-52)$$

式中 $U_{d,y}$ ——发电机电压,如上所述,它的变化范围为 $\pm 5\%$ 。取 $U'_{j,t}$ 和 $U''_{j,t}$ 的平均值,然后选择一个电压与平均值相近的标准分接头。

例: 一个35千伏 $\pm 2 \times 2.5\%$ /11千伏降压变电所,在排灌期间与非排灌季节其电压情况如表7-23所示,二次侧电压要求在10.9~10.2千伏之间变化,试选择变压器的分接头。

表 7-23

名 称	排 灌 季 节		非 排 灌 季 节	
	最大负荷	最小负荷	最大负荷	最小负荷
变压器高压侧电压(千伏)	33.5	34.5	35	36
变压器电压降(千伏)	1.7	1.0	0.8	0.3

解: 先选择排灌季节变压器的分接头,利用公式7-44和公式7-45得

$$U'_{j,t} = (33.5 - 1.7) \frac{11}{10.2} = 34.3 \text{ 千伏,}$$

$$U''_{j,t} = (34.5 - 1) \frac{11}{10.9} = 33.8 \text{ 千伏.}$$

显然选择 -2.5% 这一抽头(34.13千伏)比较合适的,这时二次侧的实际电压为:

$$\text{最大负荷时: } U_2' = (33.5 - 1.7) \frac{11}{34.13} = 10.21 \text{ 千伏;}$$

$$\text{最小负荷时: } U_2'' = (34.5 - 1) \frac{11}{34.13} = 10.78 \text{ 千伏;}$$

非排灌季节时,分接头的数值应该是:

$$U'_{j,t} = (35 - 0.8) \frac{11}{10.2} = 36.9 \text{ 千伏,}$$

$$U''_{j,t} = (36 - 0.3) \frac{11}{10.9} = 36 \text{ 千伏.}$$

可以选择 $+5\%$ 这一分接头(36.75千伏),这时二次侧的实际电压应为:

$$\text{最大负荷时: } U_2' = (35 - 0.8) \frac{11}{36.75} = 10.22 \text{ 千伏;}$$

$$\text{最小负荷时: } U_2'' = (36 - 0.3) \frac{11}{36.75} = 10.69 \text{ 千伏.}$$

6. 串联电容器

(1) 串联电容的原理与作用

架空线路中的电压损失有一部分是由电抗造成的。为了补偿架空线路中的电压损失,可以采用改变线路电抗的办法来达到。线路上串联电容就是利用这个原理来达到调压的目的。

由图7-10中向量图清楚地看出串联电容对调整电压的作用。线路上没有串联电容时, U_1 的端点在a点,当用串联电容部分补偿线路电抗时, U_1 的端点移至b点,此时 U_1 显然比没有补偿时小了。如果串联电容的电抗超过线路电抗时, U_1 将移至c点,在图示情况下, U_1 继续减小,通常用串联电容的电抗(X_c)与线路电抗(X_L)的比值来表示线路补偿的程度,谓之补偿度(D),即

$$D = \frac{X_c}{X_L}, \quad (7-53)$$

$D < 1$ 谓之欠补偿, $D > 1$ 谓之过补偿。

110千伏以下线路上串联电容的过补偿度不宜超过4。

(2) 串联电容的计算公式

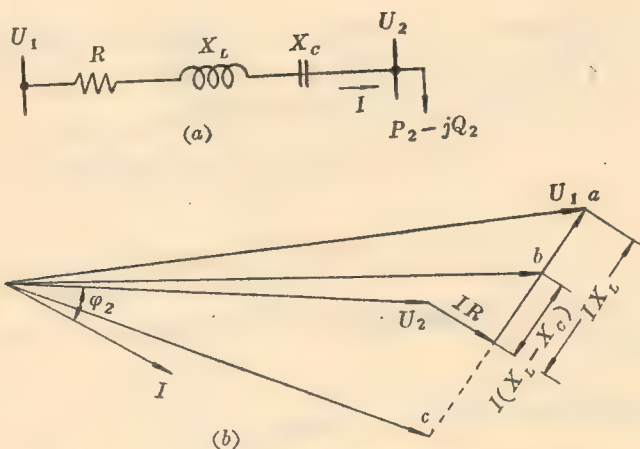


图 7-10 具有串联电容的电力线路的等值图和向量图

计算线路上需要串联多少容量时，须先用公式7-54求出线路上需要补偿多少电抗 X_c （利用图7-10）

$$X_c = X_L + kQ_2 - \sqrt{(kQ_2)^2 - k(U_2^2 - U_1^2 + 2Pr) - r^2}, \quad (7-54)$$

式中

$$k = \frac{U_2^2}{P_2^2 + Q_2^2}, \quad U \text{ 用千伏, } P_2, Q_2 \text{ 用千瓦和兆乏表示, 再}$$

$$\text{求出负荷电流 } I = \frac{\sqrt{P_2^2 + Q_2^2}}{\sqrt{3} U_2}.$$

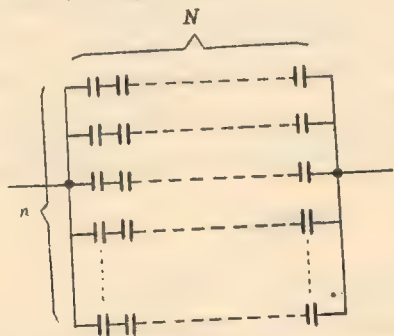


图 7-11 串联电容连接示意图

串联电容需要并联的回路数（见图7-11）

$$n' = \frac{I}{i}, \quad (7-55)$$

式中 i ——单个串联电容的额定电流。

n' 应为整数，如有小数应进位为整数，此整数令为 n 。

串联电容的串联数应为

$$N' = \frac{X_c}{x_c/n} = \frac{X_c n}{x_c}, \quad (7-56)$$

式中 x_c ——单个串联电容的电抗值；

X_c ——式7-54中求出的所需串联电容的数值；

N' 应为整数，如有小数，应进位为整数，此整数令为 N 。

串联电容的实际安装容量

$$Q_c = 3nNq_c, \quad (7-57)$$

式中 q_c 为单个电容器的额定容量。

实际补偿的 X_c 值为

$$X_c = N \frac{x_c}{n}. \quad (7-58)$$

我国西安电容器厂目前生产的串联电容器的规范如表7-24所示。

表 7-24 串联电容器规范表

型 号	额定电压 (伏)	额定容量 (千乏)	额定电容 (微法)	工作频率 (赫)	外形尺寸(公厘)			重量 (公斤)	订价 (元/台)
					长	宽	高		
CY0.6-50-1	600	50	442	50	646	126	1200	150	800

注：型号表示的意义：C—串联，Y—油浸。

CY型电容器，可在周围环境温度为 $-40^{\circ}\text{C} \sim +35^{\circ}\text{C}$ 海拔高度不超过1000米的环境中长期工作。

由计算可知，这种电容器的额定电流为83.4安，50赫时的电抗为7.2欧。

具有串联电容的线路，当过补偿度较大时，计算电压不仅需

要考虑电压降的纵分量, 还需要考虑电压降的横分量, 这时电压的计算公式如下:

$$U_1 = \sqrt{\left[U_2 + \frac{P_2 R + Q_2 (X_L - X_C)}{U_2} \right]^2 + \left[\frac{P_2 (X_L - X_C) - Q_2 R}{U_2} \right]^2} \quad (7-59)$$

公式7-59是在已知 U_2 、 P_2 和 Q_2 情况下写出的, 如果知道的是 U_1 、 P_1 和 Q_1 , 则 U_2 的计算如下:

$$U_2 = \sqrt{\left[U_1 - \frac{P_1 R + Q_1 (X_L - X_C)}{U_1} \right]^2 + \left[\frac{P_1 (X_L - X_C) - Q_1 R}{U_1} \right]^2} \quad (7-60)$$

例: 从某一变电所接出一条35千伏线路, 线路长度(公里)送端实际电压(千伏)负荷(千伏安)导线截面和线路阻抗(欧)如图7-12所示。

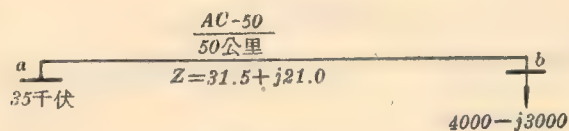


图 7-12

经过计算, 末端 b 点电压只有29.6千伏, 显然不能满足要求, 希望把 b 点电压提高至33千伏, 需要多少串联电容。

解: 利用公式7-54求 X_C ,

$$\text{先求出 } k = \frac{33^2}{4^2 + 3^2} = 43.6,$$

$$\begin{aligned} X_C &= 21 + 43.6 \times 3 - \sqrt{(3 \times 43.6)^2 - 43.6(33^2 - 35^2 + 2 \times 4 \times 31.5) - 31.5^2} \\ &= 21 + 130.8 - \sqrt{17100 - 5060 - 9.92} \\ &= 151.8 - 105.1 = 46.7 \text{ 欧.} \end{aligned}$$

负荷电流为:

$$I = \frac{\sqrt{4^2 + 3^2}}{\sqrt{3} \cdot 33} = 0.0875 \text{ 千安} = 87.5 \text{ 安.}$$

用我国出产的CY0.6-50-1串联电容, 其额定电流为83.4安, 电抗为7.2欧, 每相串联电容的并联个数应为(利用公式7-55)

$$n' = \frac{87.5}{83.4} = 1.05 \text{ 个,}$$

实际上需要采用2个, 每相所需串联数为(公式7-56):

$$N' = \frac{46.7 \times 2}{7.2} = 12.97 \text{ 个,}$$

每相应串联13个电容器。

线路上串联电容的总容量为:

$$Q_C = 3 \times 2 \times 13 \times 50 = 3900 \text{ 千乏.}$$

实际补偿的电抗为:

$$X_C = \frac{7.2}{2} \times 13 = 46.8 \text{ 欧.}$$

本例中串联电容的容量较大, 这是由于负荷电流略大于单个电容器的额定电流, 需要多并联一组电容器的缘故。

经过串联电容补偿后 b 点的实际电压可由公式7-59求出。

$$\begin{aligned} 35^2 &= \left[U_b + \frac{4 \times 31.5 + 3(21 - 46.8)}{U_b} \right]^2 \\ &\quad + \left(\frac{4(21 - 46.8) - 3 \times 31.5}{U_b} \right)^2, \\ 1225 &= \left[U_b + \frac{49.2}{U_b} \right]^2 + \left(\frac{197.7}{U_b} \right)^2 \\ &= U_b^2 + 2 \times 49.2 + \left(\frac{49.2}{U_b} \right)^2 + \left(\frac{197.7}{U_b} \right)^2, \\ U_b^2 - 1127 + \frac{36680}{U_b^2} &= 0, \\ U_b^4 - 1127U_b^2 + 36680 &= 0, \\ U_b^2 &= \frac{1}{2} (1127 + \sqrt{1127^2 - 4 \times 36680}) \\ &= 1094, \end{aligned}$$

$$U_0 = 33.1 \text{ 千伏。}$$

如果不考虑电压降的横分量， b 点的电压为 33.5 千伏。电压损失由 1.9 千伏变成 1.5 千伏，对计算串联电容的影响颇大。

上面已经说过，本例中串联电容没有充分利用。如果增加补偿度，提高 b 点电压至 35 千伏，负荷电流减少了，每相只需一组串联电容，线路上串联电容的总容量只有 1650 千乏，不过补偿度将增至 3.7 倍左右，对继电保护的影响比前一种方案大了。

7. 带负荷调压变压器和加压变压器

这二种变压器的原理是一样的，它们的特点都是能在带负荷的情况下改变分接头，不但可使由负荷变化而引起的电压变化得到了补偿，并可获得逆调压的效果。即在电力网最大负荷时，电力网的电压水平较低，但在改变调压变压器的变化后，变压器二次侧的电压升高，由变压器供电的电力网的电压得到提高；在电力网最小负荷时，电压损失减小，电力网的电压水平普遍升高（比最大负荷时高）。这时，再调整变压器的分接头，就可以降低二次侧的电压，降到比最大负荷时的电压还要低，这样，在大多数情况下，变压器二次侧电力网可以按经济原则进行设计；不致因受到电压降和电压偏移等技术条件的限制而增加额外投资；这是采用调压变压器和加压变压器的优点。它的缺点是经常需要操作，对变化极为迅速的负荷引起的电压偏差无法调整，且多了调压部分增加了投资。目前我国生产的调压变压器的数量较少，无完整资料。兹将苏联资料列在表 7-25 中。

带负荷调压变压器实际上是普通变压器再加一个调压装置，其原理接线图如图 7-13 所示。调压的范围一般是 $\pm 10\%$ ，有四个或八个抽头，每个抽头调整的电压为 5% 或 2.5%。

加压变压器可以串联在线路上，也可以和普通变压器串联，用来调整线路或变压器二次侧的电压，它的原理接线图如图 7-14 所示。

从图可知，加压变压器通过负荷电流，但是它的线圈的端电

压并不等于线路电压，而等于需要调整的电压，因此它的实际容量比它的额定容量要小得多，等于需要调压的电压与线路额定电压之比，通常所谓加压变压器的容量是指它的额定容量。

表 7-25 苏联出产的普通变压器与带负荷调压变压器价格对照表

(单位：卢布)

变压器的参数(千伏安/千伏)		普通变压器价格	带负荷调压变压器价格
双卷	750/10	1190	3260
双卷	1000/10	1490	3590
双卷	560/35	1100	3400
双卷	1000/35	1690	4580
双卷	1800/35	2450	5140
双卷	3200/35	3370	7000
双卷	10000/35	6920	11000
双卷	15000/35	8800	13900
双卷	20000/35	10400	15600
双卷	10000/110	11000	18900
双卷	15000/110	13500	23000
双卷	20000/110	16300	25600
双卷	31500/110	19800	33000
三卷	10000/110	16200	23200
三卷	15000/110	19600	27500
三卷	20000/110	22800	32000
三卷	31500/110	30830	39760
三卷	40500/110	32000	37850

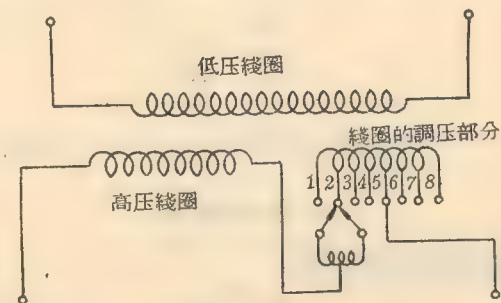


图 7-13 带负荷调压变压器的原理接线图

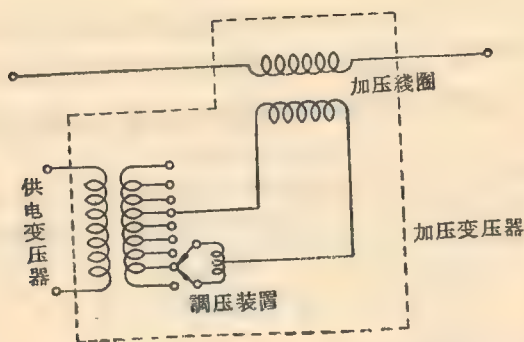


图 7-14 升压变压器的原理接线图

从调整变电所二次侧的电压来看，采用带负荷调压变压器显然要比加压变压器便宜，但是如果变电所初期负荷较小，不需要调压装置，可以先装设普通变压器，待负荷上涨后，再加一台加压变压器来调整电压。由于推迟了投资的时间，在经济上可能是有利的。加压变压器一般串联在线路上，把同一电压的电力网分成二个部分，使这二部分电力网的电压变动彼此不受影响。这样，用一个加压变压器往往可以代替几个变电所中装设带负荷调压变压器，如图 7-15 所示。这是加压变压器的优点。

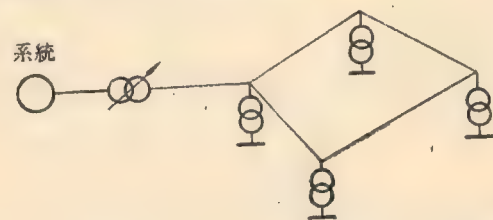


图 7-15 由一个加压变压器来控制四个变电所的电压

8. 并联电容器

从计算线路电压降的公式

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U}$$

可知，改变受端的无功功率 Q ，可以改变线路电压损失；因此，在农村电力网负荷功率因数较低的情况下，可以借补偿负荷的无功负荷提高功率因数来达到调压的作用。在农村电力网中提高功率因数的办法以装设静电电容器较为有利。必须指出，并联电容器调整电压的效果，与线路导线截面有很大关系。导线截面小，调压效果就差；导线截面大，调压效果就大。例如：1 公里的导线，截面各为 AC-35 及 AC-240，传输的功率为 1 个单位，当其功率因数由 0.8 提高到 0.9 时，两种截面导线所引起的电压损失如下：

1) AC-35, 当 $\cos\varphi = 0.8$,

$$\begin{aligned}\Delta U &= \frac{1 \times 0.91 + 0.75 \times 0.43}{U} \\ &= \frac{0.91 + 0.315}{U} = \frac{1.225}{U};\end{aligned}$$

当 $\cos\varphi = 0.9$,

$$\begin{aligned}\Delta U &= \frac{1 \times 0.91 + 0.484 \times 0.42}{U} \\ &= \frac{0.91 + 0.203}{U} = \frac{1.113}{U}.\end{aligned}$$

2) AC-240, 当 $\cos\varphi = 0.8$,

$$\begin{aligned}\Delta U &= \frac{1 \times 0.131 + 0.75 \times 0.4}{U} \\ &= \frac{0.131 + 0.3}{U} = \frac{0.431}{U};\end{aligned}$$

当 $\cos\varphi = 0.9$,

$$\begin{aligned}\Delta U &= \frac{1 \times 0.131 + 0.484 \times 0.4}{U} \\ &= \frac{0.131 + 0.194}{U} = \frac{0.325}{U}.\end{aligned}$$

由上例可见功率因数的提高，对导线 AC-35 来讲，可减少电压损失约 9%；而对 AC-240 来讲，则可减少电压损失约 25%。所以用并联电容器来提高电压水平时，其效益随不同的导线截面

而变化。

并联电容器在装设时可分成几组，当负荷减小时，可切除一部分电容器，达到减小电压总偏移的目的。

9. 几种调压方式的比较

调压变压器(包括带负荷调压变压器和加压变压器)的最大优点是它的调压作用，不受电力网参数和负荷变化的影响，而且还能进行逆调压，有可能降低6~10千伏电力网的造价。当区域电力系统的电压质量不能满足要求时，采用加压变压器将农村电力网和区域电力网分成二个部分，这是提高农村电力网电压质量的一个根本办法，可以认为采用调压变压器来提高电压质量是今后的一个方向。调压变压器的缺点是需要经常的手动操作，需要良好的工艺加工，才能保证置换分接头的机械部分可靠地工作。此外调压变压器不能调整负荷迅速变化的用户的电压。

串联电容器的优点是不需要操作，能自动地提高电压水平，减少电压波动，供给一定的无功容量；对提高现有线路的输电能力来讲，是一个简单经济的措施，而且设备也容易获得。对于电压降超过20~30%以上的线路和负荷迅速变化的线路，只有采用串联电容才能获得经济有效的效果。但是串联电容一般不能获得逆调压，并且调压效果随着电力网的参数而变化。功率因数愈大，导线截面愈小，它的效果愈差。当功率因数等于1时，串联电容基本上不起作用。同时串联电容对继电保护要增加一些困难。

采用并联电容的最大优点是提供无功容量，减少线路损失。当负荷减小时，如能采用分组切除电容器，亦能减小电压偏移，它的缺点是随着截面的减少，其效果也减少。从调压的角度来讲，并联电容所需的容量在一般情况下要比串联电容多，但并联电容能节约电能损失，所以究竟采用哪一方案，有时还需经过经济比较来决定。

各种调压方式各有优缺点，彼此有相辅相成的作用。在设计

电力网时，有时可能需几种调压方式配合使用才能满足要求。因此，选择调压方式最好经过详细技术经济分析来决定。

7-7 电力网的无功补偿

1. 概述

农村电力用户采用的电气设备主要是感应电动机，感应电动机在运行时需要吸收无功功率，成为农村电力网无功功率的主要用户；此外，线路和变压器也消耗无功功率。在日常用语中，一般不说用户消耗多少无功功率，常说用户负荷是多少瓦和功率因数($\cos\varphi$)是多少。因为功率因数的大小和无功功率之间有一定关系，功率因数低，无功功率需要量就大，反之，需要较少的无功功率。因为

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (7-61)$$

用电设备功率因数偏低将导致下列后果：

1) 电气设备不能充分利用 变压器和发电机都有一定的额定容量，在通过一定的有功负荷时，如降低功率因数，将引起流过这些设备的电流超过它们的额定值，为了不致损坏设备，必须降低通过的电流，也就是降低了设备的供电能力，不能充分发挥其作用。

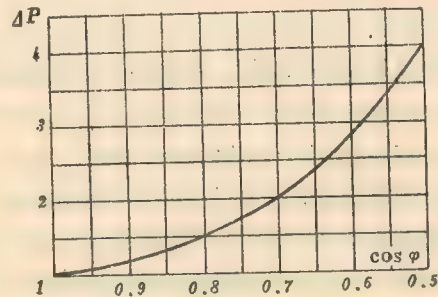


图 7-16 功率损失和功率因数的关系

2) 增加損耗, 降低效率 綫路的功率損失與通過電流的平方成比例, 在輸送同樣的有功功率時, 功率損失將隨功率因數的降低迅速增長, 如圖 7-16 所示(圖中以 $\cos \varphi = 1$ 時的功率損失為 1)。

3) 增加綫路電壓降, 限制綫路傳輸能力 當輸送有功功率一定時, 功率因數減低會使無功電流增加, 引起綫路變壓器中電壓損失的增加, 從而使電網電壓質量變壞, 或被迫減少綫路傳輸容量。

從上可知, 功率因數過低, 對電力網的運行是很不利的。過低的功率因數必須調整, 其方法有自然調整及人工調整二種。自然調整功率因數就是在農村電力網中提高電動機的利用率, 避免作空載和輕負荷運行, 在可能的地方採用同步電動機等。人工調整功率因數, 就是在用戶處或變電所裝設無功補償設備(農村常用的為靜電電容器)直接供給用戶所需無功功率, 避免遠距離的輸送。安裝補償設備會增加投資, 所以應首先採用提高自然功率因數的方法。

2. 電力系統的無功平衡

用戶所需的和電力網中損失的無功功率必須由電力系統中的無功電源供給, 否則電力系統不能正常運行。電力系統中主要的無功電源是發電機, 它能提供的無功容量由它的額定容量和額定功率因數來決定。一般汽輪發電機的功率因數為 0.8, 5 萬瓩和 10 萬瓩發電機的功率因數分別為 0.85 和 0.9, 水輪發電機的功率因數一般為 0.8~0.85。發電機發出的無功功率除了受本身容量限制外, 由於綫路傳輸容量不夠, 一部分所謂“窩著的”無功功率不能送到系統中, 這部分窩著的容量在平衡時必須拋棄。除了發電機外, 綫路的電容也能產生無功容量, 不過, 只有 110 千伏及以上電壓的綫路, 這部分功率才比較大(同步電動機也可以提供無功容量, 但目前農村中不使用這種電動機)。這二部分無功功率不能滿足系統要求時, 必須人為地接入無功補償裝置, 在作規劃時, 無功功率也要象有功功率一樣需要進行平衡, 並滿足公式 7-

62 的要求。

$$Q_{f.g} + Q_{a.l} + Q_{b.s} \geq Q + \Delta Q, \quad (7-62)$$

式中 $Q_{f.g}$ ——發電機在額定容量時能發出的無功功率。要扣去“窩著的”無功容量;

$Q_{a.l}$ ——綫路產生的無功功率;

$Q_{b.s}$ ——補償裝置發出的無功功率;

Q ——無功負荷;

ΔQ ——電力網的無功損失。

為了保證電力網的正常運行, 最好能有 6~7% 的無功備用容量。

由無功平衡計算出來的無功容量是系統中最低限度的必需容量, 但不一定是最經濟的容量。在很多情況下, 寧願在受端裝設補償裝置, 而不讓綫路上輸送過大的無功功率, 不過這種做法必須要用技術經濟加以證明。

3. 無功功率的經濟當量

改變電力網中某一點的無功功率, 會引起電力系統中其他有關的綫路、變壓器和發電機中流過的電流變化。例如在圖 7-17 中, 在 T_0 的高壓側裝設電容器, 不僅在 T_0 與 T_1 間綫路上流過的無功功率將減少, 而且流過發電機, 變壓器 T_1 、 T_2 、 T_3 及其間綫路的無功電流亦將減少。在經濟計算中, 計算由無功功率減少而引起 T_0 與 T_1 間綫路上減少的有功損失是比較容易的, 但要求出其他部分減少的有功損失(從發電機到 T_0)比較困難。為解決這一問題, 我們利用無功功率經濟當量這一概念。它的計算公式的求法如下: 系統中有功功率損失為

$$\Delta P_1 = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R \cdot 10^{-3} \text{ 瓩},$$

式中 P, Q ——輸送的有功和無功功率, (千伏安);

U ——系統的綫電壓, (千伏);

R ——系統的電阻, (歐)。

当系统中安装了容量为 Q_c 千乏的补偿装置后, 系统中的有功功率损失就等于

$$\Delta P_s = \frac{P^2 + (Q - Q_c)^2}{U^2} R \cdot 10^{-3} \text{ 瓦,}$$

由此求得 1 千乏补偿装置能减少系统中 有功损失的数值

$$T = \frac{\Delta P_1 - \Delta P_s}{Q_c} = \frac{2Q - Q_c}{U^2} R \cdot 10^{-3} \text{ 瓦/千乏. (7-63)}$$

当 Q_c 比起 Q 来颇小时, 上式中的值将接近于

$$T_{s,j} = \frac{2Q}{U^2} R \cdot 10^{-3} \text{ 瓦/千乏. (7-64)}$$

$T_{s,j}$ 称为无功功率经济当量, 电力网无功功率经济当量的平均值如图 7-17 所示。

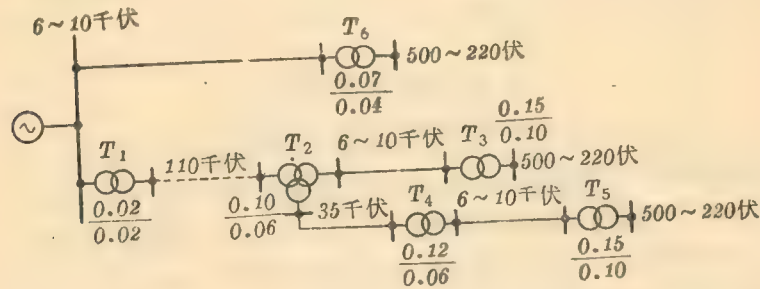


图 7-17 电力系统的无功功率经济当量

图中分母是最大负荷时的 $T_{s,j}$ 值, 分子是最小负荷时的 $T_{s,j}$ 值。 $T_{s,j}$ 值随着系统结构的不同而异, 在设计时最好应用本系统求出的 $T_{s,j}$ 值。

我国西安电力电容器厂目前生产的并联电容器的规范如表 7-26 所示。

表 7-26 并联电容器规范表

型 号	额定电压 (伏)	额定容量 (千乏)	额定电容 (微法)	工作频率 (赫)	外型尺寸(毫米)			重量 (公斤)
					长	宽	高	
YY0.23-5-3	230	5	301	50	380	110	425	23
YY0.4-7-3	400	7	140	50	380	110	425	23
YY0.4-9-3	400	9	180	50	380	110	425	23
YY0.4-10-3	400	10	200	50	380	110	425	23
YY3.15-10-1	3150	10	32	50	380	110	455	23
YY3.15-12-1	3150	12	387	50	380	110	455	23
YY3.15-14-1	3150	14	452	50	380	110	455	23
YY6.3-10-1	6300	10	0.801	50	380	110	490	24
YY6.3-12-1	6300	12	0.96	50	380	110	490	24
YY6.3-14-1	6300	14	1.12	50	380	110	490	24
YY10.5-10-1	10500	10	0.29	50	380	110	545	25
YY10.5-12-1	10500	12	0.35	50	380	110	545	25
YY10.5-14-1	10500	14	0.46	50	380	110	545	25
YY3.15-25-1	3150	25	8	50	315	145	978	62
YY6.3-25-1	6300	25	2	50	315	145	978	62
YY10.5-25-1	10500	25	0.725	50	315	145	1031	62
YY6.3-35-1	6300	35	2.8	50	490	252	745	94
YY10.5-35-1	10500	35	1.02	50	490	252	770	94
YYW3.15-12-1	3150	12	3.87	50	380	110	475	25
YYW6.3-12-1	6300	12	0.96	50	380	110	520	25
YYW10.5-12-1	10500	12	0.35	50	380	110	545	25
YYW3.15-22-1	3150	22	7.1	50	315	145	975	62
YYW6.3-22-1	6300	22	1.76	50	315	145	1035	62
YYW10.5-22-1	10500	22	0.64	50	315	145	1055	62
YY0.23-5-3-TS	230	5	301	50	380	110	450	23
YY0.4-7-3-TS	400	7	140	50	380	110	450	23
YY0.4-9-3-TS	400	9	180	50	380	110	450	23
YY3.15-9-1-TS	3150	9	2.88	50	380	110	475	23
YY3.15-10-1-TS	3150	10	3.22	50	380	110	475	23
YY6.3-9-1-TS	6300	9	0.722	50	380	110	520	24
YY6.3-10-1-TS	6300	10	0.8	50	380	110	520	24
YY10.5-9-1-TS	10500	9	0.26	50	380	110	545	25
YY10.5-10-1-TS	10500	10	0.29	50	380	110	545	25

注: 1. 型号表示的意义: 第一字母 Y 为移相电容器, 第二字母 Y 为油浸式, 第三字母 W 为户外装置; 第一数字为额定电压千伏, 第二数字为额定容量千乏, 第三数字为相数; 字母 T 为热带, 字母 S 为亚湿。

2. 各类型电容器适用于周围环境温度:
(1) 户内装置为自 -30°C 至 $+40^{\circ}\text{C}$, (2) 户外装置为自 -30°C 至 $+45^{\circ}\text{C}$ 。
海拔不高于 1000 米, 相对湿度不大于 80% 的地区。

7-8 三相短路电流计算

1. 概 述

如果需要大致地确定开关设备的规范,就需要计算短路电流。不过在规划阶段,一般对设备不作详细的选择,而留待具体工程设计中去解决。所以在作规划时,一般只计算零秒三相短路的周期性分量。下面介绍它的计算方法。

2. 三相短路电流的计算方法

(1) 首先根据系统接线图画出阻抗图,其作法如下:

根据系统接线图,求出各元件(发电机、线路和变压器等)的阻抗值,由于不同电压的阻抗不能直接相加,必须把所有阻抗归算至同一电压级(称为基准电压 $U_{j,zh}$)。在归算时常用电压的平均值,即230、115、67、37、10.5、6.3、3.15、0.4、0.23千伏进行计算。当选择某一电压为基准电压后,不属于这一电压级的阻抗按公式7-65进行归算。

$$Z_{g..} = Z \frac{U_{j,zh}^2}{U^2}, \quad (7-65)$$

式中 $Z_{g..}$ ——归算至基准电压 $U_{j,zh}$ 的阻抗值;

Z ——在电压 U 时的阻抗值。

(2) 简化阻抗图,求出综合阻抗 $Z_{z..}$,如果 $Z_{z..}$ 中电阻不到电抗的 $\frac{1}{3}$ 时,可略去电阻的数值。

计算容量小于560~750千伏安变压器低压侧的短路电流时,可假定高压侧系统具有无限大容量,也就是不计算系统的阻抗。这样的假定一般都是允许的。

(3) 利用公式7-66即可求出零秒三相短路电流的周期性分量

$$W_{s..} = \frac{U_{j,zh}^2}{Z_{z..}} \text{兆伏安}, \quad (7-66)$$

式中 $U_{j,zh}$ 和 $Z_{z..}$ 应分别用千伏和欧表示。

在计算不计系统短路阻抗的变压器的低压侧的短路容量时,也可用公式7-67估算,

$$W_{s..} = \frac{W_{s.d} \cdot 100}{U_{s..} \%} \text{兆伏安}, \quad (7-67)$$

式中 $W_{s.d}$ ——变压器额定容量,(兆伏安);

$U_{s..} \%$ ——变压器短路阻抗, (%)。

农村变电所35千伏侧短路容量一般不超过400兆伏安,因此低压侧短路容量一般不超过表7-27中数值。

表 7-27 35千伏变电所低压侧短路容量(兆伏安)

台数	变压器容量 (千伏安)	1000	1800	3200	5600
一台		15.2	25.9	41	62.9
二台(并联运行)		29.3	48.6	74.5	108.5

3. 阻抗图中各元件阻抗的计算

(1) 发电机、调相机的阻抗计算

通常从产品目录中可查到它们的次暂电抗的标么值 X'' ,利用公式7-68就可计算出它们归算至 $U_{j,zh}$ 的电抗值 $X_{f..}$,

$$X_{f..} = \frac{U_{j,zh}^2}{W_{s.d}} X'' \text{欧}, \quad (7-68)$$

式中 $W_{s.d}$ ——发电机的额定容量,(兆伏安);

$U_{j,zh}$ ——(千伏)。

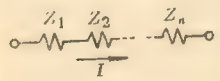
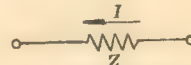
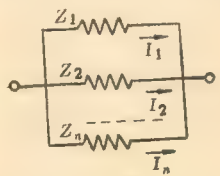
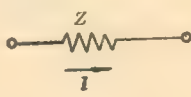
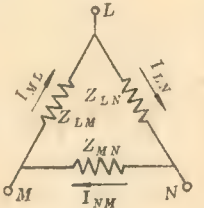
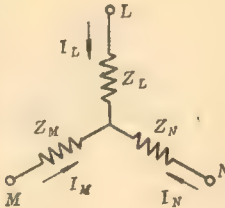
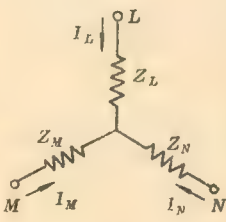
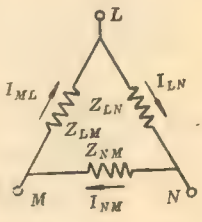
在没有资料时, X'' 可采取下列平均值:

汽轮发电机	0.125
有阻尼绕线的水轮发电机	0.2
无阻尼绕线的水轮发电机	0.27
同期补偿器或电动机	0.2

在计算中,不考虑发电机的电阻。

(2) 变压器的阻抗计算

表 7-28 网络变换

序号	名称	阻 抗 图	
		变 换 前	变 换 后
1	串 联		
2	并 联		
3	三角形变为星形		
4	星形变为三角形		

的基本公式

阻 抗 计 算 公 式	电 流 计 算 公 式
$Z = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n$	$I = I$
$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \dots + \frac{1}{Z_n}$ 当 $n=2$ 时 $Z = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}$	$I_n = I \frac{Z}{Z_n}$
$Z_L = \frac{Z_{LM} Z_{LN}}{Z_{LM} + Z_{LN} + Z_{MN}}$ $Z_M = \frac{Z_{ML} Z_{MN}}{Z_{LM} + Z_{LN} + Z_{MN}}$ $Z_N = \frac{Z_{NL} Z_{NM}}{Z_{LM} + Z_{LN} + Z_{MN}}$	$I_{ML} = \frac{I_M Z_M - I_L Z_L}{Z_{LM}}$ $I_{LN} = \frac{I_L Z_L - I_N Z_N}{Z_{LN}}$ $I_{NM} = \frac{I_N Z_N - I_M Z_M}{Z_{NM}}$
$Z_{LM} = Z_L + Z_M + \frac{Z_L Z_M}{Z_N}$ $Z_{LN} = Z_L + Z_N + \frac{Z_L Z_N}{Z_M}$ $Z_{NM} = Z_N + Z_M + \frac{Z_N Z_M}{Z_L}$	$I_L = I_{LM} - I_{ML}$ $I_M = I_{ML} - I_{NM}$ $I_N = I_{NM} - I_{LN}$

在本书第八章或产品目录中可查得变压器的短路阻抗 $U_{d.1}\%$ 的百分值,利用公式7-69就可求得归算至 $U_{j.s.}$ 值的阻抗值。

$$Z_{b.g} = \frac{U_{j.s.}^2 U_{d.1}\%}{W_{e.d} \cdot 100} \text{ 欧}, \quad (7-69)$$

对于小容量(几百千伏安以下)的变压器,如果有必要考虑它的电阻时,可以用短路阻抗的有功分量和无功分量分别求出电阻和电抗的归算值。

(3) 电力线路的阻抗计算

在计算短路电流时,每公里6~110千伏单回路架空线路的阻抗可用0.4欧,220~380伏架空线路采用0.35欧/公里,线路的电阻可查表7-1和表7-2。35千伏线路的电阻和截面大于50毫米²的6~10千伏线路电阻可以忽略不计。

求得线路的阻抗后,利用公式7-65便得归算至 $U_{j.s.}$ 的阻抗值。

(4) 当农村电力网由区域电力系统供电时,不需要画出区域电力系统的全部阻抗,只需得到区域电力系统的综合阻抗即可。如果不知道综合阻抗,可用下面方法进行估算。先查得农村电力网与区域电力系统联结处开关的遮断容量,则电力系统的综合电抗可估计为(归算至 $U_{j.s.}$):

$$X_{e.t} = \frac{U_{j.s.}^2}{W_{e.d}} \quad (7-70)$$

4. 阻抗图的化简

把阻抗图上的阻抗化简成一个综合阻抗后,才能利用公式7-66求出短路容量。

阻抗合并时,计算公式如表7-27所示,阻抗图中所有电源的电势均假定是相等的。

例:系统接线图如图7-18所示,各元件参数已标在图上。求 K_1 , K_2 点三相短路时的短路容量(零秒周期性分量)。

解:先将各元件阻抗归至6.3千伏。

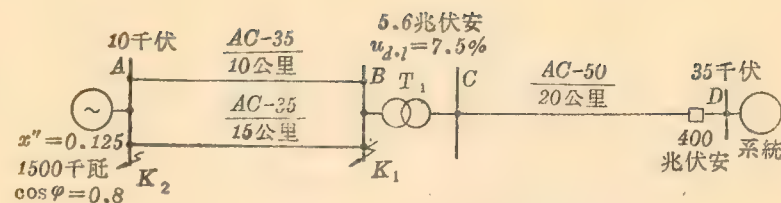


图 7-18 系统接线图

1) 系统阻抗未知,用油开关遮断容量进行估计,利用公式7-69得

$$X_{e.t} = \frac{6.3^2}{400} = 0.993 \text{ 欧}.$$

2) 线路CD每公里的阻抗为 $0.63 + j0.4$ 欧,总阻抗为 $12.6 + j8$ 欧,归算至6.3千伏时阻抗为(利用公式7-65):

$$Z_{cd} = (12.6 + j8) \left(\frac{6.3}{37} \right)^2 = 0.375 + j0.231 \text{ 欧}.$$

3) 变压器 T_1 的归算电抗为(利用公式7-69):

$$X_{T_1} = \frac{6.3^2 \times 7.5}{5.6 \times 100} = 0.532 \text{ 欧}.$$

4) AB间有二条线路,每公里阻抗为 $0.91 + j0.4$ 欧,总阻抗分别为 $13.7 + j6$ 欧和 $9.1 + j4$ 欧。

5) 发电机的电抗按公式7-68进行计算,

$$Z_{f.d} = \frac{6.3^2 \times 0.8}{1.5} \times 0.125 = 2.65 \text{ 欧}.$$

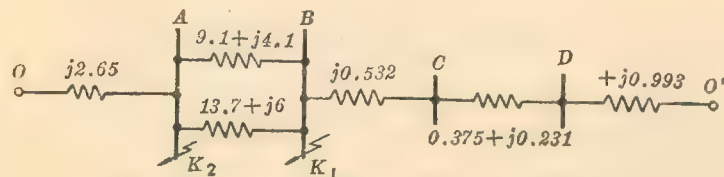


图 7-19 阻抗图

将AB間并聯阻抗化簡为:

$$\begin{aligned} Z_{AB} &= \frac{(13.6+j6)(9.1+j4.1)}{13.7+j6+9.1+j4.1} \\ &= \frac{14.9\angle 23.8^\circ \times 10\angle 24.25^\circ}{24.9\angle 23.9^\circ} \\ &= 5.99\angle 24.15^\circ = 5.46+j2.45\Omega. \end{aligned}$$

求 K_1 点短路容量

$$\begin{aligned} Z_{OB} &= 5.46+j2.45+j2.65=5.46+j5.1\Omega, \\ Z_{O'B} &= j0.532+0.375+j0.231+j0.993=0.375 \\ &\quad +j1.256\Omega. \end{aligned}$$

Z_{OB} 与 $Z_{O'B}$ 并聯得

$$\begin{aligned} Z_{s.h.1} &= \frac{(5.46+j5.1)(0.375+j1.256)}{5.46+j5.1+0.375+j1.256} \\ &= \frac{7.47\angle 43.05^\circ \times 1.31\angle 73.35^\circ}{8.65\angle 47.4^\circ} = 1.13\angle 69^\circ. \end{aligned}$$

$$W_{d.1.1} = \frac{6.3^2}{1.13} = 35 \text{ 兆伏安}.$$

求 K_2 点短路容量

$$\begin{aligned} Z_{OA} &= j2.65 \\ Z_{O'A} &= j0.993+0.375+j0.231+j0.532+5.46+j2.45 \\ &= 5.835+j4.206. \end{aligned}$$

Z_{OA} 与 $Z_{O'A}$ 并聯得

$$\begin{aligned} Z_{s.h.2} &= \frac{(5.835+j4.206)j2.65}{5.835+j4.206+j2.65} \\ &= \frac{7.18\angle 35.8^\circ \times 2.65\angle 90^\circ}{11.1\angle 49.6^\circ} = 1.71\angle 76.2^\circ. \end{aligned}$$

$$W_{d.1.2} = \frac{6.3^2}{1.71} = 23.2 \text{ 兆伏安}.$$

从計算过程中可以看出35千伏綫路的电阻对計算結果影响不大。

第八章 农村电力网主要电气設備的选择

8-1 架空綫路导綫截面的选择

1. 概 述

由于农村負荷密度較小,用戶比較分散,送电距离較长,在农村电气化的投資中电力綫路及变电所投資占的比重較大,所以在规划中,合理的选择导綫和变压器等主要設備,对保証供电质量,降低电力网的投資,節約材料設備,加速农村电气化的发展速度具有很大的实际意义。

2. 导綫的种类和规范

(1)导綫的性能和应用范围如表8-1所示。

表 8-1

导綫材料	导 綫 的 性 能	应 用 范 围
铜	1.导电性能好,导电率为53米/欧-毫米 ² 2.有足够的机械强度,瞬时破坏强度为39公斤/毫米 ² 3.比重为8.9克/厘米 ³ 4.能抵抗气候的影响	由于目前我国铜的产量不够,而且較貴,在农村电力网中不推荐采用
铝	1.导电性能比铜差一些,导电率为32米/欧-毫米 ² 2.机械强度較小,瞬时破坏强度为16公斤/毫米 ² 3.比重为2.7克/厘米 ³ 4.对化学物品抵抗力較弱	由于机械强度較小,所以都制成多股絞綫,大都用在6~10千伏及以下电压的綫路上,但須与鋼芯铝綫作比較,在技术經济上认为合理时才采用铝綫

續表

導線材料	導 線 的 性 能	應 用 范 圍
銅	1. 導電性能比銅、鋁差，導電率約為7.5米/歐-毫米 ² 2. 機械強度大，瞬時破壞強度單股的為37公斤/毫米 ² ，多股為60~70公斤/毫米 ² 3. 比重為7.85克/厘米 ³ 4. 容易生銹，但可以在導線的表面鍍一層鋅，以防生銹	對於負荷小的線路（通常在25安以下），特別對於支接線路，建議採用鍍鋅鋼絞線。
鋼芯 鋁線	1. 導電率與鋁線相同 2. 機械強度大 3. 對化學物品抵抗力與鋁線相同	可廣泛地應用於農村6~10千伏及以上電壓的電力線路上

(2) 各種導線的標準規格及特性如表8-2到表8-6所示。

表 8-2 銅導線的標準規格及特性表

額定截面 (毫米 ²)	直 徑 (毫米)	20°C時電阻 (歐姆/公里)	1 公 里 長 導 線 重 量 (公斤)	導線溫度80°C 氣溫25°C時持 續安全電流 (安)
T-4	2.2	4.65	34	55
T-6	2.7	3.06	51	77
T-10	3.5	1.84	86	104.5
T-16	5.1	1.20	145	143
T-25	6.3	0.74	222	198
T-35	7.5	0.54	314	242
T-50	9.0	0.39	452	297
T-70	10.6	0.28	600	407
T-95	12.4	0.20	825	456
T-120	14.0	0.158	1050	533
T-150	15.8	0.123	1345	626
T-185	17.5	0.103	1680	708
T-240	20.0	0.078	2120	844

表 8-3 鋁導線的標準規格及特性表

額定截面 (毫米 ²)	直 徑 (毫米)	20°C時電阻 (歐姆/公里)	1 公 里 長 導 線 重 量 (公斤)	導線溫度70°C、 氣溫25°C時持 續安全電流 (安)
L-16	5.1	1.96	44	105
L-25	6.3	1.27	68	135
L-35	7.5	0.91	95	170
L-50	9.0	0.63	137	215
L-70	10.6	0.45	190	265
L-95	12.4	0.33	266	325
L-120	14	0.27	323	370
L-150	15.8	0.21	419	440
L-185	17.4	0.17	516	500

表 8-4 鋼芯鋁導線的標準規格及特性表

額定截面 (毫米 ²)	直 徑 (毫米)	20°C時電阻 (歐姆/公里)	1 公 里 長 導 線 重 量 (公斤)	製造長度 (米)	導線溫度70°C 氣溫25°C時持 續安全電流 (安)
LG-35	8.3	0.91	128	4500	170
LG-50	9.9	0.63	193	3000	220
LG-70	11.7	0.45	269	2000	275
LG-95	13.9	0.33	431	1400	335
LG-120	15.3	0.26	504	1400	380
LG-150	17.0	0.21	623	1000	445
LG-185	19.1	0.17	781	800	515
LG-240	21.5	0.13	995		610
LG-300	25.2	0.11	1395		710
LG-400	29.3	0.08	1880		865

表 8-5 鋼導線的標準規格及特性表

額定截面 (毫米 ²)	直 徑 (毫米)	1 公 里 長 導 線 重 量 (公斤)	導線溫度125°C 氣溫25°C時持 續安全電流 (安)
多 股 鋼 導 線			
G-25	5.6	194	89.3
G-35	7.8	295	112

續表

額定截面 (毫米 ²)	直徑 (毫米)	1公里導線重量 (公斤)	導線溫度125°C 氣溫25°C時持續 安全電流 (安)
G-50	9.2	396	134
G-70	11.5	632	186
G-95	12.6	755	209
單股鋼導線			
G-Φ4	4	100	52
G-Φ5	5	154	60

注：1. 鋼導線電阻隨截面通過電流的大小而改變，如第七章表7-5所示。
2. 有確切依據時，鋼導線持續電流的導線溫度可以超過125°C。

表8-6 鋁芯絕緣線的標準規格及特性表

標準截面 (毫米 ²)	導電線芯		皮線外徑 (毫米)	安全電流 (安)	每圈重量 (公斤)
	根數	直徑(毫米)			
4	1	2.24	4.9	19	3.39
6	1	2.37	5.3	27	4.21
10	7	1.33	7.6	45	7.8
16	7	1.68	8.9	70	11.4
25	7	2.11	10.6	95	16.4
35	7	2.49	11.8	115	20.3
50	19	1.81	13.8	145	27.6
70	19	2.41	15.4	185	35.1
95	19	2.49	17.6	225	45.9
120	37	2.01	19.7	260	57.4
150	37	2.24	21.7	300	70.0
185	37	2.49	23.8	335	85.0

注：1. 上表允許電流值是按周圍空氣溫度為25°C，導線溫度為65°C考慮的。
2. 絕緣線每圈的标准長度為100米。

3. 導線截面的選擇

選擇導線截面用的計算負荷應該是線路建成後五年左右時間內線路的最大負荷，此負荷不是只在個別年份中出現，而是在相當長一段時間內具有一定的代表性。

在確定線路計算負荷後，架空線路的截面一般應按經濟電流密度來選擇，然後再以電量，機械強度，發熱及電壓損失等技術條件加以校驗。

(1) 按經濟電流密度選擇截面

經濟電流密度是根據線路投資和年運行費的綜合計算，並考慮了節約有色金屬等因素而得出的線路電流密度，因此用經濟電流密度求出的截面比較經濟合理。它的計算方法如下：先求出線路上流過的電流 I 安，按線路上流過的最大負荷的年利用小時數，從表8-7中查出經濟電流密度 J ，待求的截面 S 可用下列公式求出：

$$S = \frac{I}{J} \text{ 毫米}^2. \quad (8-1)$$

表8-7 架空鋁線及鋼芯鋁線的經濟電流密度
(安/毫米²)

最大負荷利用小時		
500~1500	1500~3000	3000~5000
2.0	1.65	1.15

計算出來的截面，可能在兩個相鄰標準導線截面之間，一般可以選擇較大的導線截面；但是線路負荷在遠景規劃中沒有增長或增長很小，且計算截面又接近較小的標準導線截面時，也可以採用較小一號的導線截面。

表8-8是根據表8-7計算出來的鋁及鋼芯鋁線的經濟輸送容量。

表 8-8 鋁及鋼芯鋁導綫經濟輸送容量表
(單位: 千伏安)

导线 截面 (毫米 ²)	最 大 負 荷 用 小 时										3000~4500 小时														
	500~1500 小时					1500~3000 小时																			
	U (千伏)					I					U (千伏)					I					U (千伏)				
	I (安)	0.38	6	10	35	60	110	(安)	0.38	6	10	35	60	110	(安)	0.38	6	10	35	60	110				
16	32	21	330	550	—	—	—	26.4	17	274	456	—	—	—	18.4	12	191	318	—	—	—				
25	50	33	520	870	—	—	—	41.3	28	430	715	—	—	—	28.8	19	298	496	—	—	—				
35	70	46	730	1210	4240	7300	—	57.7	38	600	1000	3500	6000	—	40.2	26	418	695	2430	4180	—				
50	100	66	1040	1730	6050	10400	19000	82.5	54	855	1430	5000	8550	15730	57.5	38	596	995	3480	5960	11000				
70	140	—	1450	2420	8460	14500	26600	115.5	—	1190	2000	6950	11900	22000	80.5	—	836	1395	4860	8360	15400				
95	190	—	1970	3280	11450	19700	36100	157	—	1630	2700	9480	16300	29700	109.3	—	1130	1890	6600	11300	20800				
120	240	—	2500	4150	14450	25000	45650	198	—	2060	3430	11900	20600	37700	138	—	1435	2390	8350	14350	26300				
150	300	—	—	—	18000	31200	57200	247.5	—	—	—	—	14900	25700	47100	172.5	—	—	—	10400	17900	32800			
185	370	—	—	—	22400	38400	70400	305	—	—	—	—	18400	31700	58000	212.5	—	—	—	12800	22100	40400			
240	480	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	41100	75400	276	—	—	—	—	28700	52400			

由于农村负荷密度较小，因此农村电力网可以广泛采用镀锌钢绞线，这对节约有色金属降低电力网的造价具有重大意义。钢导线的缺点是电阻系数较大，当流过大电流时，不仅电压降不能满足要求，而且电力损失过大，因此钢导线适用于负荷较小的线路，特别是分支线上。表8-9为流过多股钢绞线的推荐电流值。

表 8-9 流过多股鋼絞綫的經濟电流

导 线 型 号	G-25	G-35	G-50
电 流 (安)	0~15	12~20	18~25

(2) 按电晕条件来校验导线截面

高压架空电力线路上产生电晕，不但会增加线路的电力损失，还会对无线电通信产生干扰，在设计线路时，要避免线路在运行中发生这种现象。电晕的产生与导线的直径关系很大，故通常用增加导线直径的办法来避免它的产生。60千伏及以下的线路电压较低，可不必按电晕条件来验算截面，但对110千伏及以上电压的线路必须作此验算。“高压架空电力线路设计技术规程”中规定，在海拔不超过1000米的地区，110千伏的导线直径不小于9.9毫米时（相当于AC-50），可不必验算电晕。

(3) 按机械强度来校驗截面

表 8-10 1000伏以上架空电力线路导线最小允许截面(或直径)

导		纜	架 空 纜 路 等 級	
构	造	材	I	II
单	股 的	銅 鋼(鉄) 鋁	不許使用 不許使用 不許使用	10毫米 ² Φ3.5毫米 不許使用
多	股 的	銅 鋼(鉄) 鋁及鋼芯鋁纜	16毫米 ² 16毫米 ² 25毫米 ²	10毫米 ² 10毫米 ² 16毫米 ²

多股及单股导线直径过小，或单股导线的直径过大，均容易产生断线，规程中规定了架空线路的允许截面，如表8-10至表8-12所示。

表 8-11 1000伏以下架空电力线路最小允许截面(或直径)

材 料	架 空 线 路 档 距 (米)			屋外绝缘布线和引下线 支 架 间 距 离 (米)	
	10及以下	10~25	大于25	0.8及以下	0.8~2
铜 导 线	3毫米	3毫米	3毫米	—	—
铜 导 线	2.5毫米 ²	4毫米 ²	6毫米 ²	1.5毫米 ²	2.5毫米 ²
铝 导 线	6毫米 ²	10毫米 ²	16毫米 ²	2.5毫米 ²	4毫米 ²
钢芯铝线	—	—	16毫米 ²	—	—

表 8-12 农村电力线路当高压及低压线路同杆架设时，高压线路准许使用单股导线的截面(或直径)

导 线 材 料	截 面 或 直 径	
	最 小	最 大
非镀锌钢(铁)线	5毫米	6毫米
镀锌钢(铁)线	4毫米	6毫米
铜 线	10毫米 ²	16毫米 ²

(4)按导线的发热条件来校验导线截面

电流通过导线，即在导线上产生热量，导线温度升高，容易在接头处发生故障，根据“高压架空电力线路设计技术规程”规定，架空电力线路的导线按发热条件验算时，在正常运行情况下，导线的允许温度不应超过以下数值：

铜导线	80°C
铝导线	70°C

在事故运行情况下，铝导线的允许温度不应超过90°C。

在进行导线的温升计算时，周围空气的温度应采用当地最热

月份平均最高温度。

根据以上所校验的导线最大允许温度，及周围空气温度(25°C时)，各种导线截面最大允许的电流见表8-2至表8-5。

如果最热月份空气平均最高温度不同于25°C，则导线的最大允许电流应予修正，即表8-2至表8-5中的持续安全电流应乘以修正系数。修正系数值可按表8-13选用。

表 8-13 在不同周围空气温度下的修正系数

导 线 材 料	周 围 空 气 温 度 (°C)							
	5	10	15	20	25	30	35	40
铜	1.17	1.13	1.09	1.04	1	0.95	0.9	0.85
铝	1.145	1.11	1.074	1.038	1	0.96	0.92	0.88
铁	1.095	1.072	1.05	1.025	1	0.975	0.95	0.922

(5)按电压损失校验导线截面

按经济电流密度选择导线截面，有时不能满足电压损失的要求，因此对于6~10千伏及以下电压的线路，还要按电压损失来校验导线截面。如果电压降超过允许范围，而且没有任何调压设备的话，可以增加导线截面来达到减少电压降的目的。对于35千伏及以上电压的线路，用增加截面来减少电压损失的办法，一般认为是不妥当的。这是因为1)这些电压线路的送电距离较长，增加导线截面后会引引起投资及有色金属有较多的增加；2)这些线路采用的截面较大，改变截面对电压损失的影响较小，例如将AC-150导线改为AC-185，电压降只减少约7%，但将AC-16改为AC-25时，电压降要减少30%；3)采用其他调压措施比改变截面有更好的技术经济效果。

例：有一条10千伏线路供电给两个大型排灌站b和c，排灌站的最大负荷(千伏安)和距离(公里)如图8-1所示。最大负荷的年平均利用小时为1000小时，线路的容许电压损失为10%，试计算线路的导线截面。



图 8-1

解：流过 b 、 c 的电流

$$I_{bc} = \frac{\sqrt{400^2 + 300^2}}{\sqrt{3} \times 10} = 28.9 \text{ 安。}$$

流过 Ab 的电流

$$I_{Ab} = \frac{\sqrt{920^2 + 690^2}}{\sqrt{3} \times 10} = 66.4 \text{ 安。}$$

年利用小时为 1000 小时，经济电流密度为 2 安/毫米²，故 Ab 段截面应为 $\frac{66.4}{2} = 33.2$ 毫米²； bc 段截面应为 $\frac{28.9}{2} = 14.45$ 毫米²。

bc 段的截面必须采用 16 毫米² 的铝线，才能满足机械强度的要求。 Ab 段的截面可用 35 毫米² 的铝线。由表 8-4 可知，导线的发热是不成问题的，现在验算电压损失：

Ab 段、 bc 段电抗各以 0.4 欧/公里和 0.37 欧/公里计算，每公里的电阻分别为 1.96 欧和 0.91 欧。

$$\Delta U_{Ab} = \frac{Pr + Qr}{U} = \frac{920 \times 0.91 + 690 \times 0.37}{10} = 546 \text{ 伏，}$$

$$\Delta U_{bc} = \frac{400 \times 1.96 + 0.4 \times 300}{10} = 453 \text{ 伏。}$$

全线路电压损失为 999 伏，占线路电压的 9.99%，没有超过允许范围（也可利用第七章中介绍的图和表，求出电压损失）。

8-2 变压器台数及容量的选择

1. 概 述

变压器是电力系统中主要元件之一，用来升高或降低交流电压。它的种类很多，在农村电力网中常用的可分下列几类：

(1) 按相数来分可分为三相和单相变压器 农村电力网中三相变压器用得最多，这是由于农村中大部分动力负荷都需三相供电，而三相变压器比同容量的三台单相变压器组有较多的优点：体积小，价格低，安装费用和占地面积也比较小，同时运行操作比较方便。

对于低压无三相动力负荷，而仅有一些小用户，如照明及家庭用电器具的配电点，可采用单相变压器。

(2) 按线卷来分可分为三卷和双卷变压器 农村电网中，一般采用双卷变压器。但当发电厂或变电所有 10(6) 千伏，35(60) 千伏和 110 千伏三种电压时，可采用三卷变压器。

(3) 按用途来分可分为升压和降压变压器 升压变压器通常安装在发电厂，用来提高发电机的电压；降压变压器一般安装在变电所或用户处，用来降低输电线的电压。

(4) 按调压方式来分可分为带负荷调压变压器和不带负荷调压变压器 前者当用户电压不符合规定时，可以不切断负荷调压电压至标准值。

(5) 按冷却方式来分可分为自然风冷、油浸自冷、油浸风冷、强迫油循环风冷和强迫油循环水冷等 目前农村中的变压器一般采用油浸自冷式；自然风冷式（也叫干式）变压器容量很小，一般不采用；其他一些冷却方式在大容量变压器中才采用。

2. 变压器的台数及容量选择

在满足同样的负荷要求的前提下，变压器的台数及容量可以有几种不同的组合，可选择一台较大容量的变压器，也可选择两

台(或两台以上)较小容量的变压器。选择两台(或两台以上)变压器有以下优缺点:

(1)基建投资要比选择一台变压器为大,同时在变压器和变电所内的其他电气设备的有色金属(铜和铝)消耗也多;

(2)在运行中可根据变电所内的负荷变化,合理调整变电所内变压器投入的台数。例如,某一35千伏农村变电所有两台容量分别为1800和1000千伏安的变压器,由于在非排灌期变电所最大负荷仅为700千伏安,因此在非排灌期可以切除一台1800千伏安的变压器,减少变压器的功率损失;

(3)当一台变压器发生故障时,其余变压器仍可保证一些重要负荷用电;

(4)可以根据负荷在规划水平年内的增长,分期安装变压器,减少投资积压;

(5)可以减少运输重量。

从技术上讲,采用一台变压器或两台变压器都能满足农业供电的要求。采用两台变压器的合理性主要取决于多花的投资能否被可能节约的运行费在预定的时间内收回,因此需要通过经济比较来决定。

变压器的容量应根据规划水平年(一般为五年左右)的最大供电负荷来选择,与此负荷相应的变电所的最大通过功率在变压器标准容量之间时,如果负荷会继续增长,一般选取容量较大的变压器。如果负荷在远景中没有增长或增长很小,且考虑变压器的过负荷因素后,标准容量较小的变压器能满足需要,则选用标准容量较小的变压器。

3. 变压器的过负荷能力

变压器的过负荷能力是根据变压器外界周围空气的最高温度,变压器的温升情况以及昼夜负荷变动情况来确定,可按下述方法计算:

(1)如果变压器的昼夜负荷曲线的负荷率小于1,对于装置

在室外,周围年平均温度等于+5℃的自冷式或风冷式油浸变压器,允许过负荷的倍数和允许的持续时间,可由图8-2来决定。

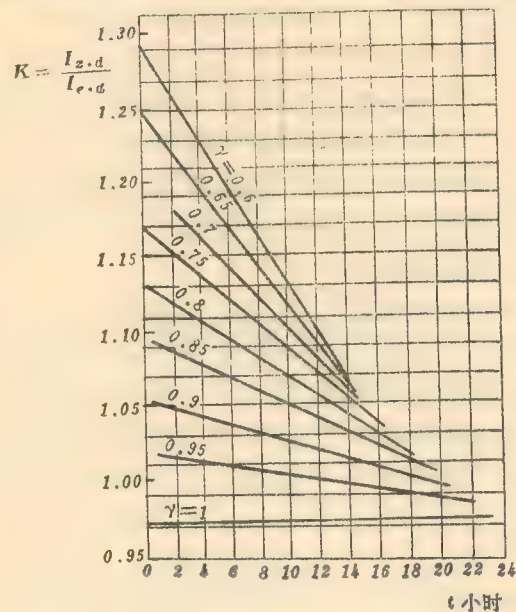


图 8-2 变压器的过负荷能力图

图中横坐标 t 表示最大负荷电流的持续时间,纵坐标 K 表示变压器能通过的最大电流与变压器额定电流的比值。不同的负荷率 γ 对应不同的曲线。负荷率是指日平均电流与最大电流的比值。

如果年平均温度不是5℃,而是 θ ℃则从图中求出的过负荷能力应乘以系数 x ,

$$x = 1 + \frac{5 - \theta}{100}$$

(2)当变压器夏季(6、7、8月)的最大负荷比冬季最大负荷低,如变压器容量按冬季工作条件选择,则变压器夏季最大负荷比变压器额定容量低 $n\%$ 时,变压器冬季最大负荷可超过变压器额定容量 $n\%$,但不得大于15%。即由于夏季最大负荷每低于

变压器额定容量的1%，允许冬季最大负荷超过变压器额定容量的1%，如果夏季最大负荷低于变压器额定容量的85%，则冬季最大负荷的过负荷可达到变压器额定容量的15%，但不容许大于15%。此规则通常称为百分之一规则。

必须注意，如果夏季最大负荷比冬季最大负荷大，变压器容量按夏季工作条件选择，则百分之一规则不适用。

(3)如果在冬季日负荷曲线负荷率小于1，而夏季最大负荷又比冬季最大负荷低时，则由上述两规则所决定的变压器过负荷能力的总和不得超过30%。

(4)有些地方温度条件和变压器的标准不符时，即年最高温度不为+40°C，而为40~45°C时(以 θ 表示)，不管负荷如何，变压器的容量应低于额定容量的 $(\theta-40^\circ)\%$ 。

(5)在变电所内有若干台变压器并列运行，若其中一台损坏时，则其余变压器允许按故障过负荷的允许值运行，如表8-14所示。

表8-14 变压器故障时允许过负荷

过负荷是额定 容量的百分数	允许最大持续时间					
	户内装置			户外装置		
	小时	分	秒	小时	分	秒
1.3	2	—	—	1	—	—
1.6	—	45	—	—	15	—
1.75	—	20	—	—	8	—
2.0	—	10	—	—	4	—
2.4	—	3	30	—	2	—
3.0	—	1	30	—	—	50

4. 变压器并列运行的条件

在变电所内有两台(或两台以上)变压器时，一般均考虑并列运行。为了使两台变压器间形成的回路不产生环路电流，使变压器负载按变压器容量比例分配，并列运行的变压器必须满足下述

条件：

(1)必须具有相同的变压比；

(2)必须具有大致相同的短路电压。如果短路电压相差较大，应进行验算，使并列运行的变压器当中任何一台不致于产生过载运行；

(3)都应有同样的“线卷连接组”，也就是Y/△-11的线卷连接组只能和Y/△-11的线卷连接组并列运行。

如果选择的变压器不能符合上述条件，则变压器低压侧必须分列运行。

5. 变压器的型号和技术数据

表8-15到表8-18中列出了SJ₁型、SFL型、SFSL型和SJ型变压器的参数。前三种型式的变压器的阻抗已经计算出来，并列在表中。

由于我国产品目录中缺少某些型式的变压器参数，现将苏联同类产品的参数列在表8-19中。

表8-21至表8-22是变压器的尺寸及重量表。

表8-23列出了变压器的铜重。

表8-24至表8-26是变压器的额定电压及线卷连接组合表。

表8-27是变压器的抽头表。

现将我国变压器型号说明如下：

变压器型号由两部分组成，第一部分是根据国务院所颁布的汉语拼音字母，用以表示产品类别、结构特征和用途。

型号字母的代表意义如下。

第一字母：

D——单相；

S——三相；

O——自耦，若OD为单相自耦，OS为三相自耦。

第二字母：

J——油浸自冷式；

表 8-15 SJ₁ 系列 10~5600 千伏安电力变压器参数表

額定容量 (千伏安)	綫卷額定电压		損耗 額定电压 时的空載 耗損 $\Delta P_{k,0}$ (瓦)	耗損 額定电压 时的短路 耗損 $\Delta P_{k,t}$ (瓦)	空載电 流占額 定电流 百分数 (%)	短路电 压占額 定电压 百分数 (%)	空載时 无功功 率損失 $\Delta Q_{k,0}$ (千乏)	短路电 压有功 分量的 百分数 (%)	短路电压的 无功分量		归算至高压侧 的降压变压器 的电阻 电抗	
	高压 (千伏)	低 压 (千伏)							无 功 (%)	$\Delta Q_{k,t}$ (千乏)	电 阻 (欧)	电 抗 (欧)
10	6.0	0.4	105	360	11	4.5	1.1	3.6	2.7	0.27	130	97.1
	10.0	0.4	135	360	12	4.5	1.2	3.6	2.7	0.27	360	270
20	6.0	0.4	180	625	10	4.5	2.0	3.13	3.23	0.65	56.3	58
	10.0	0.4	215	625	11	4.5	2.2	3.13	3.23	0.65	156	161
50	6.0	0.4	350	1300	7.5	4.5	3.75	2.6	3.68	1.84	18.7	26.5
	10.0	0.4	405	1300	8.0	4.5	4.0	2.6	3.68	1.84	52	73.6
100	6.0	0.4	600	2250	7.0	4.5	7.0	2.25	3.89	3.89	8.1	14
	10.0	0.4	660	2250	7.5	4.5	7.5	2.25	3.89	3.89	22.5	38.9
180	6.0	0.4	960	3600	6.5	4.5	11.7	2.0	4.03	7.25	4.0	8.06
	10.0	0.4	1000	3600	7.0	4.5	12.6	2.0	4.03	7.25	11.1	22.4
320	6.0	0.4	1450	5700	6.0	4.5	19.2	1.78	4.14	13.2	2.04	4.65
	10.0	0.4	1500	5700	6.5	4.5	20.8	1.78	4.14	13.2	5.57	12.9

续表

額 定 容 量 (千伏安)	綫卷額定电压		損 耗		空載电 流占額 定电流 百分数 (%)	短路电 压占額 定电压 百分数 (%)	空載时 无功功 率損失 $\Delta Q_{k,0}$ (千乏)	短路电 压有功 分量的 百分数 (%)	短路电压的 无 功 分 量		归算至高压侧 的降压变压器的 电 阻 电 抗	
	高 压 (千伏)	低 压 (千伏)	額定电压 时的空載 損耗 $\Delta P_{k,0}$ (瓦)	額定电压 时的短路 損耗 $\Delta P_{k,t}$ (瓦)					$\Delta Q_{d,t}$ (千乏)	$\Delta Q_{d,t}$ (千乏)	电 阻 (欧)	电 抗 (欧)
560	10.0	0.4	2200	9000	6.0	4.5	33.6	1.61	4.2	23.5	2.87	7.5
750	10.0	0.4	3700	11300	6.0	4.5	45.0	1.51	4.23	31.7	2.01	5.64
1000	10.0	0.4	4500	14000	5.0	4.5	50.0	1.4	4.24	42.4	1.4	4.24
	10.0	6.3	4500	14000	5.0	5.5	50.0	1.4	5.32	53.2	1.4	5.32
1800	35.0	10.5	5000	14000	5.5	6.5	55.0	1.4	6.35	63.5	17.2	77.8
	10.0	0.4	6800	22000	4.5	4.5	81.0	1.22	4.33	78	0.68	2.41
3200	10.0	6.3	6800	22000	4.5	5.5	81.0	1.22	5.36	96.5	0.68	2.98
	35.0	10.5	7400	22000	5.0	6.5	90.0	1.22	≈ 6.5	117	8.34	44.3
5600	10.0	0.4	10200	34000	4.0	5.5	128.0	1.06	≈ 5.5	176	0.332	1.71
	38.5	10.5	10800	34000	4.5	7.0	144.0	1.06	≈ 7.0	224	4.06	26.8
5600	10.0	0.4	15000	52000	3.5	5.5	196.0	0.93	≈ 5.5	308	0.166	0.983
	38.5	10.5	15500	52000	4.0	7.5	224.0	0.93	≈ 7.5	420	2.03	16.4

注：升压变压器的阻抗为降压变压器的1.21倍。

表 8-16 SFSL 系列 110 千伏双卷电力变压器参数表

型 式	损 耗		空载电流 占额定电 流百分数 (%)	短路电压 占额定电 压百分数 (%)	空载时无 功功率 损失 (千瓦)	短路电压 有功分量 的百分数 (%)	短 路 电 压		归算至高压侧 的降压变压器的 电 阻	
	额定电压 时的空载 损 耗 (瓦)	额定电压 时的短路 损 耗 (瓦)					无	功 分 量 (%)	电 阻 (欧)	电 抗 (欧)
SFSL-7500/110	24.0	75	4.0	10.5	300	1.00	10.5	788	16.1	169
SFSL-10000/110	30.0	94	3.5	10.5	350	0.94	10.5	1050	11.4	127
SFSL-15000/110	40.5	128	3.5	10.5	525	0.853	10.5	1575	7.22	89
SFSL-20000/110	50.0	160	3.0	10.5	600	0.81	10.5	2100	4.84	63.5
SFSL-31500/110	74.0	200	2.7	10.5	850	0.635	10.5	3310	2.44	40.4
SFSL-45000/110	100.0	250	2.6	10.5	1170	0.555	10.5	4725	1.49	28.2
SFSL-60000/110	130.0	310	2.5	10.5	1500	0.517	10.5	6300	1.04	21.2

注：升压变压器的阻抗为降压变压器的1.21倍。

表 8-17 SFSL 系列 110 千伏三卷电力变压器参数表

型 式	损 耗		空载电 流占额 定电流 百分数 (%)	短路电压占额定电压的			归算至高压侧的降压变压器的阻抗				
	额定电 压时的 空 耗 (瓦)	额定电 压时的 短 路 耗 (瓦)		百 分 数			电 阻		电 压		
				高-中 (%)	高-低 (%)	中-低 (%)	100 % 总 卷 (欧)	66.7 % 总 卷 (欧)	高 压 (欧)	中 压 (欧)	低 压 (欧)
SFSL-7500/110 I II	32	80	4.5	17 10.5	10.5 17	6 6	8.6	12.9	174 174	101 0	0 101
SFSL-10000/110 I II	39	98	4.4	17 10.5	10.5 17	6 6	5.93	8.9	130 130	75.6 0	0 75.6
SFSL-15000/110 I II	55	135	4.0	17 10.5	10.5 17	6 6	3.63	5.45	86.8 86.8	50.4 0	0 50.4
SFSL-20000/110 I II	70	162	3.5	17 10.5	10.5 17	6 6	2.45	3.68	65 65	37.8 0	0 37.8
SFSL-31500/110 I II	98	230	3.0	17 10.5	10.5 17	6 6	1.40	2.1	41.3 41.3	24.0 0	0 24.0
SFSL-45000/110 I II	130	300	3.0	17 10.5	10.5 17	6 6	0.897	1.35	28.9 28.9	16.8 0	0 16.8
SFSL-60000/110 I II	147	430	2.5	17 10.5	10.5 17	6 6	0.724	1.09	21.7 21.7	12.6 0	0 12.6

注：升压变压器的阻抗为降压变压器的1.21倍。

表 8-18 SJ-10~5600 千伏安三相双卷变压器的参数表

額定容量 (千伏安)	繞卷額定电压的 最大 限 值		損 耗		短路电压 (%)	空载电流 (%)
	高 压 (千伏)	低 压 (千伏)	空载损耗 (瓦)	短路损耗 (瓦)		
10	6.3	0.4	105	335	5.5	10.0
	10	0.4	140	335	5.5	10.0
20	6.3	0.4	180	600	5.5	9.0
	10	0.4	220	600	5.5	10.0
30	6.3	0.4	250	850	5.5	8.0
	10	0.4	300	850	5.5	9.0
50	6.3	0.4	350	1325	5.5	7.0
	10	0.4	440	1325	5.5	8.0
100	6.3	0.4	600	2400	5.5	6.5
	10	0.4	730	2400	5.5	7.5
180	6.3	0.4	1000	4000	5.5	6.0
	10	0.4	1200	4100	5.5	7.0
320	6.3	0.4	1600	6070	5.5	6.0
	10	0.4	1900	6200	5.5	7.0
560	10	0.4	2500	9400	5.5	6.0
750	10	0.4	4100	11900	5.5	6.0
	10	0.4	4900	15000	5.5	5.0
1000	10	6.3	4900	15000	5.5	5.0
	35	10.5	5100	15000	6.5	5.5
1800	10	0.4	8000	24000	5.5	4.5
	10	6.3	8000	24000	5.5	4.5
	35	10.5	8300	24000	6.5	5.0
3200	10	6.3	11000	37000	5.5	4.0
	35	10.5	11500	37000	7.0	4.5
5600	10	6.3	18000	56000	5.5	4.0
	35	10.5	18500	57000	7.5	4.5

注: SJ 与 SJ₁ 型变压器的用途是一样的, 只是因材料供应不同而引起参数的某些变化。

表 8-19 苏联生产和試制的某些变压器的参数表

型 式	短 路 电 压 (%)			損 耗 (瓦)		空载电流 (%)
	高-中	高-低	中-低	空载损失	短路损失	
TM-100/35		6.5		0.9	2.4	8
TM-180/35		6.5		1.5	4.1	8
TM-320/35		6.5		2.3	6.2	7.5
TM-560/35		6.5		3.35	9.4	6.5
TM-1000/35		6.5		5.10	15.0	5.5
TM-1800/35		6.5		8.30	24.0	5
TM-3200/35		7.0		11.5	37.0	4.5
TM-5600/35		7.5		18.5	57.0	4.5
TM-7500/35		7.5		24.0	75.0	3.5
ТД-10000/35		7.5		29.0	92.0	3.0
ТД-15000/35		8.0		39.0	122.0	3.0
ТД-20000/35		8.0		48.0	148.0	2.5
ТД-31500/35		8.0		93.0	180.0	2.3
ТМН-560/10		5.5		2.5	9.4	—
ТМН-750/10		5.5		4.5	11.8	—
ТМН-1000/10		5.5		4.6	15.1	—
ТМН-560/35		6.5		3.35	9.4	—
ТМН-1000/35		6.5		6.0	14.0	—
ТМН-1800/35		6.5		9.0	24.0	—
ТМН-3200/35		7.0		13.2	34.0	—
ТМН-5600/35		7.5		19.5	57.0	—
ТДН-10000/35		14.4		24.0	90.0	4
ТДН-15000/35		8.2		40.0	120.0	4

續表

型 式	短 路 电 压 (%)			损 耗 (瓩)		空载电流 (%)
	高-中	高-低	中-低	空载损失	短路损失	
ТДН-20000/35		8.3		50.0	130	3.5
ТДНГ-10000/110		13.2		38.0	95.0	4.5
ТДНГ-15000/110		10.7		50.0	115	4.5
ТДНГ-20000/110		11.6		62.0	150	4.5
ТДНГ-31500/110		11.6		95.0	195	4
ТДТНГ-10000/110	17	10.5	6.4	52.0	103	5.5
ТДТНГ-10000/110	10.5	17	6.4	52.0	98.0	5.5
ТДТНГ-15000/110	10.8	18.2	6.6	65.0	137	5
ТДТНГ-15000/110	18.2	10.8	6.6	65.0	137	5
ТДТНГ-20000/110	11.7	19	6.7	78.0	181	5
ТДТНГ-20000/110	18.4	11.2	6.5	78.0	181	5
ТДТНГ-31500/110	17.4	10.5	6.2	125	260	5
ТДТНГ-31500/110	10.7	17.1	6.2	125	245	5
ТДТНГ-40500/110	18.4	10.9	7.0	145	305	4
ТДТНГ-40500/110	10.6	18.2	6.9	145	300	4

注: 1. TM型是双卷变压器。

2. TMH型是双卷带负荷调压变压器, 其分接头为 $\pm 4 \times 2.5\%$ (1800千伏安以下变压器) 和 $\pm 4 \times 2.0\%$ (1800~5600千伏安)。

3. ТДН型和 ТДНГ型是双卷带负荷调压变压器。

4. ТДТНГ型是三卷带负荷调压变压器。

表 8-20 SJ₁系列10~5600千伏安三相双卷变压器外形尺寸及重量

型 号	外形尺寸(毫米)			重 量 (公斤)		
	高	长	宽	器身重	油 重	总 重
SJ ₁ -10/6	1135	930	450	100	94	255
SJ ₁ -10/10	1135	930	450	105	94	260
SJ ₁ -20/6	1155	985	450	145	110	320
SJ ₁ -20/10	1155	985	450	150	110	325
SJ ₁ -50/6	1280	1105	765	265	150	515
SJ ₁ -50/10	1280	1105	765	275	150	525
SJ ₁ -100/6	1435	1235	820	415	218	810
SJ ₁ -100/10	1435	1235	820	430	218	825
SJ ₁ -180/6	1490	1295	984	590	284	1115
SJ ₁ -180/10	1490	1295	984	620	284	1145
SJ ₁ -320/6	1635	1665	1000	890	370	1625
SJ ₁ -320/10	1635	1665	1000	915	370	1650
SJ ₁ -560/10	1780	1915	1170	1400	540	2510
SJ ₁ -750/10	3650	2260	1440	1900	920	3480
SJ ₁ -1000/10(Y/Y0-12)	2590	2540	1560	2300	1150	4380
SJ ₁ -1000/10(Y/0-11)	2590	2540	1560	2250	1150	4330
SJ ₁ -1000/35	2935	2610	1480	2600	1620	5320
SJ ₁ -1800/10	3135	2705	1800	3550	2030	7140
SJ ₁ -1800/35	3305	2945	1850	3750	2310	7800
SJ ₁ -3200/10	3605	2845	3500	5300	3260	10960
SJ ₁ -3200/35	3605	2965	3500	5550	3500	11500
SJ ₁ -5600/10	3745	4155	3550	7750	4230	15540
SJ ₁ -5600/35	3725	4155	3550	8050	4400	16090

注: 变压器总重量除器身重及油重外, 尚包括油箱及附件重量。

表8-21 SFL
SFSL-7500~60000千伏安变压器外形尺寸及重量

型 号	外形尺寸(毫米)			重 量 (公斤)		
	宽	高	长	油 重	总 重	运输重
SFL-7500/110	4420	4928	5135	10900	29950	23440
SFL-10000/110	4440	5040	5366	12150	34550	26210
SFL-15000/110	4680	5287	6460	14350	43250	31565
SFL-20000/110	4750	5480	6350	16550	51550	37400
SFL-31500/110	5490	6118	6850	19200	66800	51160
SFL-45000/110	5000	6130	7170	21900	81000	62635
SFL-60000/110	5610	6541	7880	25800	99800	76810
SFSL-7500/110	4780	5122		14225	38625	31010
SFSL-10000/110	4820	5290		15515	43635	35540
SFSL-15000/110	4870	5418		17430	54630	43450
SFSL-20000/110	4950	5517		19200	63200	50340
SFSL-31500/110	5600	6014		25100	83600	65420
SFSL-45000/110	5720	6388		28900	105500	81700
SFSL-60000/110	5800	7117		37600	130300	97380

表 8-22 SJ系列10~5600千伏安双卷变压器外形尺寸及重量

型 号	外形尺寸(毫米)			重 量 (公斤)		
	长	宽	高	器身重	油 重	总 重
SJ-10/6	920	775	940	110	115	300
SJ-10/10	1070	450	1135	120	150	355
SJ-20/6	920	785	1035	170	130	380
SJ-20/10	1070	540	1255	180	195	465
SJ-30/6	950	820	1110	200	180	480
SJ-30/10	1170	670	1335	245	220	590
SJ-50/6	1005	820	1055	245	165	530
SJ-50/10	1200	570	1265	285	200	680
SJ-100/6	1280	820	1380	390	235	875
SJ-100/10	1230	875	1550	430	310	935
SJ-180/6	1230	960	1433	550	260	1240
SJ-180/10	1230	960	1433	560	260	1250

續表

型 号	外形尺寸(毫米)			重 量 (公斤)		
	长	宽	高	器身重	油 重	总 重
SJ-320/6	1680	1020	1575	830	350	1710
SJ-320/10	1680	1020	1575	850	350	1730
SJ-560/10	2070	1340	1735	1350	520	2920
SJ-750/10	2260	1450	2202	1600	900	3850
SJ-1000/10	2480	1510	2475	1920	1030	4490
SJ-1000/35	2610	1480	2930	2600	1650	5740
SJ-1800/10	2705	1800	3135	3550	2030	7970
SJ-1800/35	2945	1850	3305	3750	2310	9060
SJ-3200/10	2845	3500	3605	5300	3260	10960
SJ-3200/35	2965	3500	3605	5550	3100	11840
SJ-5600/10	3930	3550	3725	7750	4230	15540
SJ-5600/35	4155	3550	3725	8050	4400	18310

表 8-23 变压器的铜重

变压器容量 (千伏安)	各级电压变压器的铜重(吨)				
	6 千 伏	10 千 伏	35 千 伏	110 千 伏	110 千 伏 (三 卷)
10	0.031				
20	0.038	0.034			
50	0.06	0.055	0.065		
100	0.068	0.073	0.088		
180	0.105	0.106	0.120		
320	0.160	0.150	0.168		
560	0.270	0.260	0.308		
750	0.300	0.303			
1000	0.430	0.423	0.483		
1800	0.615	0.585	0.550		
3200	0.910	0.845	0.920		
5600	1.210	1.185	1.180	1.55	2.50
7500			1.500	1.65	3.10
10000			1.850	2.00	3.50
15000			2.800	2.50	4.05
20000			3.400	3.05	5.05
31500			5.900	5.10	6.65

表 8-24 我国10~5600千伏安三相双卷变压器的

額 定 容 量 (千伏安)							
10	20	50	100	180	320	560	750
高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压
3.0/0.4	3.0/0.4	3.0/0.4	3.0/0.4	3.0/0.4	3.0/0.4	3.0/0.4	3.0/0.4
6.0/0.4	6.0/0.4	6.0/0.4	6.0/0.4	6.0/0.4	6.0/0.4	6.0/0.4	6.0/0.4
10.0/0.4	10.0/0.4	10.0/0.4	10.0/0.4	10.0/0.4	10.0/0.4	10.0/0.4	10.0/0.4
				6.0/3.15	6.0/3.15	6.0/3.15	
				10.0/3.15	10.0/3.15	10.0/3.15	
				10/6.3	10/6.3	10/6.3	
			35.0/0.4	35.0/0.4	35.0/0.4	35.0/0.4	
				35.0/3.15	35.0/3.15	35.0/3.15	35.0/3.15
				35.0/6.3	35.0/6.3	35.0/6.3	35.0/6.3
				35.0/10.5	35.0/10.5	35.0/10.5	35.0/10.5

額定容量、电压以及繞卷連接組的标准組合

及 額 定 电 压 (千伏)						繞 卷 連 接 組
1000	1800	2400	3200	4200	5600	
高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	
3.0/0.4						人/人0-12
6.0/0.4	6.0/0.4					人/人0-12
10.0/0.4	10.0/0.4					人/人0-12
6.0/3.15	6.0/3.15	6.0/3.15	6.0/3.15			人/△-11
10.0/3.15	10.0/3.15	10.0/3.15	10.0/3.15	10.0/3.15	10.0/3.15	人/△-11
10.0/6.3	10.0/6.3	10.0/6.3	10.0/6.3	10.0/6.3	10.0/6.3	人/△-11
35.0/0.4						人/人0-12
35.0/3.15	35.0/3.15	35.0/3.15	35.0/3.15	35.0/3.15	35.0/3.15	人/△-11
35.0/6.3	35.0/6.3	35.0/6.3	35.0/6.3	35.0/6.3	35.0/6.3	人/△-11
35.0/10.5	35.0/10.5	35.0/10.5	35.0/10.5	35.0/10.5	35.0/10.5	人/△-11
			38.5/3.15		38.5/3.15	人/△-11
			38.5/6.3		38.5/6.3	人/△-11
			38.5/10.5		38.5/10.5	人/△-11

表 8-27 变压器额定电压及空载时线卷分接头数值
10~5600千伏安变压器(一)

线卷之分接头	降压变压器的高压线卷(千伏)							升压变压器 高压线卷 (千伏)
+5%	3.15	3.3	6.3	6.6	10.5	11	36.75	40.4
额定值	3	3.15	6	6.3	10	10.5	35	38.5
-5%	2.85	3.0	5.7	6.0	9.5	10	33.25	36.6

7500~60000千伏安变压器(二)

綫卷之分接头	双卷及三卷变压器的高压綫卷(千伏)					升压及降压变压器的 中压綫卷 (千伏)
	降 压 变 压 器			升 压 变 压 器		
+5%	11.0	36.75	115.5	40.4	127.05	40.4
+2.5%	10.75	35.87	112.7	39.46	124.02	39.46
額 定	10.5	35.0	110.0	38.5	121.0	38.5
-2.5%	10.25	34.13	107.25	37.54	117.98	37.54
-5%	10	33.25	104.5	36.6	114.95	36.6

F——风冷式;

S——强迫水冷却;

P——强迫油冷却。

第三字母:

S——三线卷;

L——有防雷保护装置;

Z——带负载调压装置。

变压器型号的第二部分是用数字表示产品容量和电压等级。

例: SJ-560/10。

SJ 表示三相油浸自冷式变压器;

560/10之分子表示容量为 560 千伏安, 分母表示额定电压为 10 千伏。

6. 例 题

某一 35/10 千伏农村变电所灌溉期最大供电负荷为 2300-j2035, 灌溉期负荷曲线如图 8-3 所示, 全年灌溉期为 4 个月。在非灌溉期最大供电负荷为 600-j530。该变电所的最大负荷利用小时数为 1800 小时, 试求变电所内变压器的合理台数及容量。

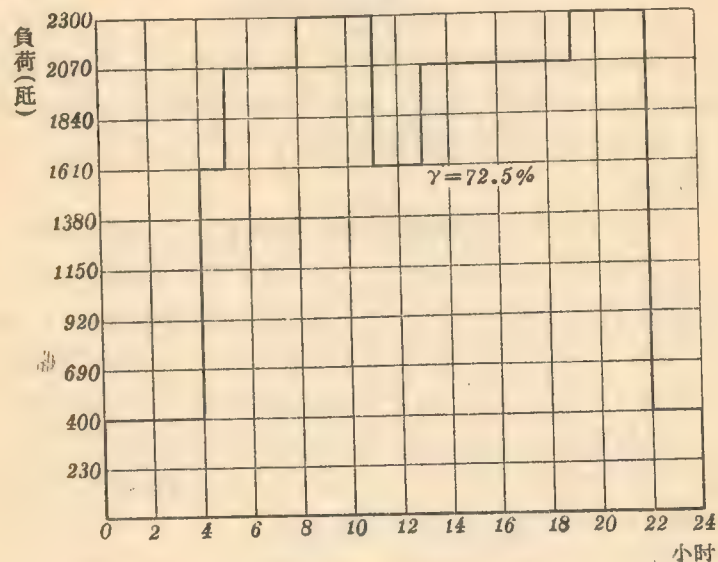


图 8-3 某变电所灌溉期的负荷曲线

解: (1) 变压器容量的计算

变电所的最大通过功率:

在灌溉期为

$$W = \sqrt{2300^2 + 2035^2} = 3070 \text{ 千伏安};$$

$$\cos \varphi = \frac{2300}{3070} = 0.75.$$

在非灌溉期为

$$W' = \sqrt{600^2 + 530^2} = 800 \text{ 千伏安};$$

$$\cos \varphi' = \frac{600}{800} = 0.75.$$

假定变压器允许用过负荷条件来选择, 根据图8-2和图8-3, 求得变压器允许过负荷 12% (由于最大负荷发生在夏季, 百分之一规则不适用), 所需变压器的容量:

$$W = \frac{3070}{1.12} = 2740 \text{ 千伏安}.$$

因此, 变压器的台数和容量选择可有两个方案: 选用一台容量为 3200 千伏安的变压器, 或两台容量分别为 1800 和 1000 千伏安的变压器, 这两台变压器符合并列运行条件。下面对两方案进行技术经济比较:

在技术上来看, 两方案均能满足供电要求。方案 I (用一台 3200 千伏安的变压器) 接线简单, 维护操作简单方便; 方案 II (用两台容量分别为 1800 和 1000 千伏安变压器) 运行较灵活, 可轮流检修, 当一台 1800 千伏安变压器故障时, 另一台 1000 千伏安变压器仍能满足 33% 的负荷。由于变压器是电网中一个比较可靠的元件, 发生故障机会较少, 同时农业负荷季节性很强, 变压器定期检修可安排在冬季农闲时期。因此, 两个方案在技术上均能满足供电要求, 下面研究它们的经济效益。

从经济观点来看, 方案 I, 由于只使用一台大容量变压器, 降低了变电所造价, 同时变电所内其他电气设备要少一些, 所以投资要比方案 II 为少。而方案 II: 虽然投资要比方案 I 大, 但运行较灵活, 在负荷低时 (非排灌期) 可以切除一台 1800 千伏安的变压器, 从而降低了变压器的功率损耗, 也就是说, 方案 II 的运行费用有可能比方案 I 低。两方案需详细的经济比较后, 方能确定最佳方案。

(2) 经济比较

变电所的接线图如图8-4所示。

首先计算变压器的功率损耗和电能损失, 由表8-15查得变压器的参数如下 (以瓩及千乏表示):

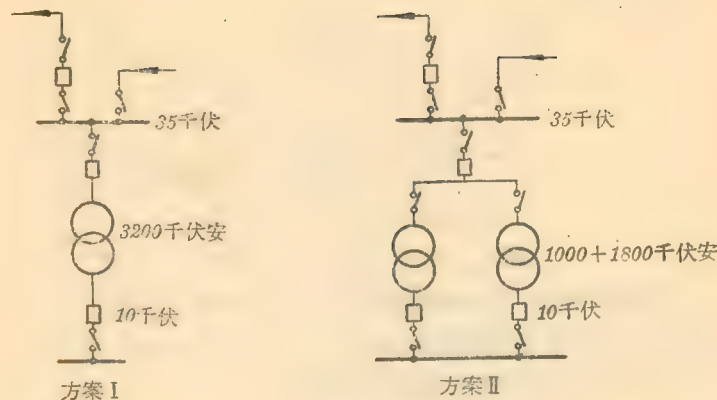


图 8-4 变电所的接线图

	$\Delta P_{k.z}$	$\Delta P_{d.1}$	$\Delta Q_{k.z}$	$\Delta Q_{d.1}$
SJ ₁ -1000/35	5.0	14	55	63.5
SJ ₁ -1800/35	7.4	22	90	117
SJ ₁ -3200/35	10.8	34	144	224

采用第一方案即一台 3200 千伏安变压器时功率损失为:

在排灌期

$$\begin{aligned} \Delta P_1 &= \Delta P_{k.z} + \Delta P_{d.1} \left(\frac{W}{W_{ed}} \right)^2 \\ &= 10.8 + 34 \left(\frac{3070}{3200} \right)^2 \\ &= 10.8 + 31.3 = 42.1 \text{ 瓩}; \\ \Delta Q_1 &= 144 + 224 \left(\frac{3070}{3200} \right)^2 \\ &= 144 + 206 = 350 \text{ 千乏}. \end{aligned}$$

取无功功率经济当量为 0.12, 由无功功率引起的有功损失为

$$\Delta P_{1\Delta Q} = 350 \times 0.12 = 42 \text{ 瓩}.$$

因此, 一台 3200 千伏安变压器排灌期总的功率损失为 $42.1 + 42 = 84.1$ 瓩。

在非排灌期

$$\Delta P'_I = 10.8 + 34 \left(\frac{800}{3200} \right)^2$$

$$= 10.8 + 2.12 = 12.92 \text{ 瓩};$$

$$\Delta Q'_I = 144 + 224 \left(\frac{800}{3200} \right)^2$$

$$= 144 + 14 = 158 \text{ 千乏};$$

$$\Delta P'_{I_{AQ}} = 158 \times 0.12 = 19 \text{ 瓩}.$$

非排灌期全部有功功率损失 $12.92 + 19 = 31.92 \text{ 瓩}$ 。

电能损失只能作近似的估算。

由变压器空载损失引起的电能损失为

$$10.8 \times 8000 = 86400 \text{ 度}.$$

由铜损及无功功率引起的电能损失近似地估计为

$$(\Delta P_{I,t} + \Delta P_{I_{AQ}}) \tau = (31.3 + 42) 1100 = 80600 \text{ 度}.$$

电能损失总计为

$$86400 + 80600 = 167,000 \text{ 度}.$$

采用第二方案即一台1000千伏安、一台1800千伏安变压器时的功率损失为：

在排灌期

$$\Delta P_{II} = (5.0 + 7.4) + (14 + 22) \left(\frac{3070}{1000 + 1800} \right)^2$$

$$= 12.4 + 43.2 = 55.6 \text{ 瓩};$$

$$\Delta Q_{II} = (55 + 90) + (63.5 + 117) \left(\frac{3070}{1000 + 1800} \right)^2$$

$$= 145 + 217 = 362 \text{ 千乏};$$

$$\Delta P'_{II_{AQ}} = 362 \times 0.12 = 43.4 \text{ 瓩}.$$

在非排灌季节

$$\Delta P'_I = 5.0 + 14 \left(\frac{800}{1000} \right)^2 = 5.0 + 2.85 = 7.85 \text{ 瓩};$$

$$\Delta Q'_I = 55 + 63.5 \left(\frac{800}{1000} \right)^2 = 55 + 40.6 = 95.6 \text{ 千乏};$$

$$\Delta P'_{I_{AQ}} = 0.12 \times 95.6 = 11.5 \text{ 瓩}.$$

全部有功功率损失为

$$7.85 + 11.5 = 19.25 \text{ 瓩}.$$

变压器空载损失引起的电能损失：

当两台变压器时(运行4个月约3000小时)。

$$(5 + 7.4) 3000 = 37200 \text{ 度}.$$

一台1000千伏安变压器时

$$5(8760 - 3000) = 28800 \text{ 度}.$$

由铜损及无功功率引起的电能损失估算为

$$(\Delta P_{II} + \Delta P_{II_{AQ}}) \tau = (43.2 + 43.4) 1100 = 95300 \text{ 度}.$$

全部电能损失为

$$37200 + 28800 + 95300 = 161300 \text{ 度}.$$

现在进行投资计算(只计算设备不同部分), 如表8-28所示。

表 8-28 投资计算表

名 称	单 价	第 一 方 案		第 二 方 案	
		数 量	价 值	数 量	价 值
3200千伏变压器	5.31万元/台	1 台	5.31万元		
1800千伏变压器	4.14万元/台			1 台	4.14万元
1000千伏变压器	3.00万元/台			1 台	3.00万元
10千伏高压开关	0.47万元/台			1 台	0.47万元
35千伏隔离开关	0.27万元/台			1 台	0.27万元
10千伏隔离开关	0.16万元/台			1 台	0.16万元
补充投资	550元/瓩	31.92瓩	1.76万元	19.25瓩	1.06万元
总 计			7.07万元		9.1 万元

在计算补充投资时, 假定系统高峰负荷出现在冬季, 故用非排灌季时的有功功率损失。

下面计算年运行费用。

变压器的折旧维护费取变压器投资的5.8%, 开关设备取开关和隔离开关总投资的11%, 电价按每度3分。

表 8-29 年运行費用計算表

名 称	第一方案	第二方案
变压器折旧维护費	3080元	4140元
开关設備折旧维护費		990元
电能損失費	5010元	4840元
总 計	8090元	9970元

从以上比較可以看出, 采用一台变压器所花投資及年运行費均比两台为少, 且前者比后者容量多 400 千伏安, 所以一台变压器在經濟上較為优越。

8-3 开关設備的选择

1. 高压开关的选择

高压开关是用来接通或切断在工作或短路情况下的高压电路的电器。

按其构造及动作原理, 高压开关可分为: 油开关、压缩空气开关等。在农村 6 ~ 35 千伏的配电装置中, 以采用少油式开关比較合适。

油开关的选择必須保証在正常情况及短路情况下正确地工作, 对于电力网规划中油开关的选择, 可按以下三个条件进行:

(1) 按额定电压选择 即设备的最大工作电压不应超过电器相应的最大允許的額定电压。例如 6 千伏的设备不能装在 10 千伏的电力网中;

(2) 按工作电流选择 即设备的最大連續工作电流不应超过电器长期額定許可电流;

(3) 按切断容量选择 即开关装置地点可能发生的三相短路的短路容量不应大于油开关額定切断容量。通常油开关額定切断容量是按短路后 0.2 秒的短路容量計算。在作规划設計时, 可用

表 8-30 高压开关

型 号		額 定 电 压 (千伏)	最大工 作电压 (千伏)	額 定 电 流 (安)	动稳定电流 (千安)		热 稳 定 电 流 (千安)		
国 产 型 号	旧型或仿型				峰 值 I_{max}	有效值 I_{eff}	1 秒	5 秒	10 秒
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

多

DN2-6	BMЭ-6	6	6.9	200	16.8	9.7	9.7	8.5	6
DN1-10	BMБ-10	10	11.5	200	14.5	8.4	8.4	5.5	3.9
		10	11.5	200	25	14.7	14.7	8.5	6
				400	25	14.7	14.7	14	10
DW1-35	BM-35			600	25	14.7	14.7	14	10
DW1-35(D)	BMД-35	35	40.5	600	17.3	10	10	10	7.1
—	BMД35-600	35	40.5	600	17.3	10	10	10	7.1
		35	40.5	600	17.3	10	10	10	7.1
DW1-60	G-50	60	69	600	15	8.7	8.7	7	5
DW1-60	G-100	60	69	1200	30	17.4	17.4	15	10
DW2-35	МКП-35	35	40.5	600	30	17.3	17.3	12.5	9
				1000	30	17.3	17.3	12.5	9
—	МКП-35-1000	35	40.5	1000	45	26	26	16.6	1.7
—	МКП-35-1500	35	40.5	1000	63	36.6	36.6	25.5	18
DW3-110	МКП-110	110	121	600	50	29	29	18.4	13
DW3-110G	МКП-110M	110	121	600	50	29	29	18.4	13
				1000	50	29	29	18.4	13
DW3-110G1	МКП-110МП	110	121	600	50	29	29	18.4	13
DW3-220	—	220	242	600	50	29	29	18	13
—	МКП-220-5	220	242	600	50	29	29	18	13
—				1000	50	29	29	18	13
—	МКП-500	500	525	1000	50	29	29	18	13

少

SN1-10	—	10	11.5	400	52	30	30	20	14
SN1-10	BMГ-133 I	10	11.5	600	52	30	30	20	14
SN2-10	—	10	11.5	400	52	30	30	20	14
SN2-10	BMГ-133 II	10	11.5	600	52	30	30	20	14
SN2-10	BMГ-133 III	10	11.5	1000	52	30	30	20	14
SN3-10	MTГ-10	10	11.5	2000	75	43.5	43.5	30	21
—				3000	75	43.5	43.5	30	21
—	MTГ-10-750	10	11.5	2000	120	70	70	67	30
				3000	120	70	70	67	30
				4000	120	70	70	59	42
SN4-10	MTГ-229	10	11.5	4000	200	116	116	116	85
—	MTГ-10	10	11.5	5000	300	—	—	—	70
SN4-20	MTГ-20	20	23	5000	250	114	—	—	85
—	MTГ-20	20	23	6000	250	114	—	—	85
				6000	300	—	—	—	85
SW1-35	MTГ-35	35	40.5	600	20	12	—	—	6.6
—	MTГ-35	35	40.5	600	25	—	—	—	7
SW1-110	MTГ-110	110	121	600	50	29	—	—	14

表 8-30 高 压 开 关 (断 路 器) 的 技 术 数 据

型 号		額 定 电 压	最大工 作电压	額 定 电 流	动稳定电流 (千安)		热 稳 定 电 流 (千安)			額定断 路电流	断 流 容 量 (兆 伏 安)						驅 动 机 构	分 開 時 間	合 開 時 間	重 量 (公 斤)	
国 产 型 号	旧 型 或 仿 型	(千 伏)	(千 伏)	(安)	峰 值 I_{max}	有 效 值 I_{eff}	1 秒	5 秒	10 秒	(千 安)	12	13	14	15	16	(操 动 机 构)	t_{cs} (秒)	(秒)	无 油	油	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
多 油 式																					
DN2-6	BMЭ-6	6	6.9	200	16.8	9.7	9.7	8.5	6	1.4	3 千伏 17	6 千伏 15	10 千伏	20 千伏	35 千伏	CS ₂	—	—	50	15	
DN1-10	BMБ-10	10	11.5	200	14.5	8.4	8.4	5.5	3.9	2.9	—	50	50	—	—	CS ₂	—	—	120	50	
		10	11.5	200	25	14.7	14.7	8.5	6	5.8	50	100	100	—	—	CS ₃	0.07	—	120	50	
				400	25	14.7	14.7	14	10	5.8	50	100	100	—	—	CD ₂	—	—	125	50	
				600	25	14.7	14.7	14	10	5.8	50	100	100	—	—		—	—	100	50	
DW1-35	BM-35	35	40.5	600	17.3	10	10	10	7.1	6.6	—	—	—	230	400	CS ₂ -X	0.06	—	116	50	
DW1-35(D)	BMД-35	35	40.5	600	17.3	10	10	10	7.1	6.6	—	—	—	230	400	CD ₂ -X	0.06	—	965	300	
—	BMД35-600	35	40.5	600	17.3	10	10	10	7.1	10.0	—	—	—	—	600	IIIIC-10	0.06	0.27	1025	300	
																	0.27	1025	300		
DW1-60	G-50	60	69	600	15	8.7	8.7	7	5	4.8	35 千伏	60 千伏	110 千伏	220 千伏	500 千伏	CD ₁	0.15	0.6	5500	2500	
DW1-60	G-100	60	69	1200	30	17.4	17.4	15	10	9.6	—	500	—	—	—	CD ₁	0.15	0.6	5500	2500	
DW2-35	МКП-35	35	40.5	600	30	17.3	17.3	12.5	9	12.5	750	—	—	—	—	CD ₃ -X	0.08	0.6	2600	800	
				1000	30	17.3	17.3	12.5	9	12.5	750	—	—	—	—	CD ₃ -X	0.08	0.6	2600	800	
—	МКП-35-1000	35	40.5	1000	45	26	26	16.6	1.7	16.5	1000	—	—	—	—	IIIПЭ-2	0.08	0.6	2600	800	
—	МКП-35-1500	35	40.5	1000	63	36.6	36.6	25.5	18	24.7	1500	—	—	—	—	IIIПЭ-31	0.08	0.6	2600	800	
DW3-110	МКП-110	110	121	600	50	29	29	18.4	13	13.2	—	—	3500	—	—	CD ₃ -33X	0.04~0.06	0.5~0.6	12110	8500	
DW3-110G	МКП-110M	110	121	600	50	29	29	18.4	13	18.4	—	—	3500	—	—	CD ₃ -33X	0.04~0.06	0.5~0.6	12110	8500	
				1000	50	29	29	18.4	13	18.4	—	—	3500	—	—	CD ₃ -33X	0.04~0.06	0.5~0.6	12110	8500	
DW3-110G1	МКП-110MII	110	121	600	50	29	29	18.4	13	18.4	—	—	3500	—	—	3XCD ₃ -31X	0.04~0.06	0.5~0.6	12780	8500	
DW3-220	—	220	242	600	50	29	29	18	13	13.2	—	—	—	5000	—	3XCD ₃ -42X	0.04~0.06	0.7~0.9	40300	48000	
—	МКП-220-5	220	242	600	50	29	29	18	13	13.2	—	—	—	5000	—	IIIПЭ-42	0.04~0.06	0.7~0.9	42000	48000	
—				1000	50	29	29	18	13	13.2	—	—	—	5000	—	IIIПЭ-42	0.04~0.06	0.7~0.9	42000	48000	
—	МКП-500	500	525	1000	50	29	29	18	13	13.9	—	—	—	—	12000	IIIПЭ-504	—	—	80000	48000	
少 油 式																					
SN1-10	—	10	11.5	400	52	30	30	20	14	20	3 千伏 100	6 千伏 200	10 千伏 200	13.8 千伏	20 千伏	CS ₂ , CD ₂	0.1	0.23	150	5	
SN1-10	BMГ-133 I	10	11.5	600	52	30	30	20	14	20	100	200	200	—	—	CS ₂ , CD ₂	0.1	0.23	155(170)	5	
SN2-10	—	10	11.5	400	52	30	30	20	14	20	100	200	200	—	—	CS ₂ , CD ₂	0.1	0.23	170	9	
SN2-10	BMГ-133 II	10	11.5	600	52	30	30	20	14	20	100	200	350	—	—	CS ₂ , CD ₂	0.1	0.23	175(190)	9(10)	
SN2-10	BMГ-133 III	10	11.5	1000	52	30	30	20	14	20	100	200	350	—	—	CS ₂ , CD ₂	0.1	0.23	180(200)	9(10)	
SN3-10	MTГ-10	10	11.5	2000	75	43.5	43.5	30	21	29	—	300	500	—	—	CD ₃	0.12	0.45	600	20	
—	MTГ-10-750	10	11.5	3000	75	43.5	43.5	30	21	29	—	300	500	—	—	CD ₃	0.12	0.45	600	20	
				2000	120	70	70	67	30	42	225	450	750	—	—	ПЭ-21	0.12	0.45	700	25	
				3000	120	70	70	67	30	42	225	450	750	—	—	ПЭ-21	0.12	0.45	700	25	
				4000	120	70	70	59	42	42	225	450	750	—	—	ПЭ-21	0.12	0.45	700	25	
SN4-10	MTГ-229	10	11.5	4000	200	116	116	116	85	90	—	940	1500	—	—	CD ₅ -G	0.15	0.65	2150	55	
—	MT-10	10	11.5	5000	300	—	—	—	70	105	550	1100	1800	—	—	IIIC-31, IIIB-30	—	—	2100	55	
SN4-20	MT-20	20	23	5000	250	114	—	—	85	72	—	—	—	—	2500	IIIC-31	—	—	2300	55	
—	MT-20	20	23	6000	250	114	—	—	85	72	—	—	—	—	2500	IIIC-31	—	—	2300	55	
				6000	300	—	—	—	85	105	550	1100	1800	2500	3000	IIIC-31, IIIB-30	—	—	2400	55	
SW1-35	MT-35	35	40.5	600	20	12	—	—	6.6	6.6	20 千伏	35 千伏	60 千伏	110 千伏	220 千伏	CD ₄ -X	0.08	0.25	965	35	
—	MT-35	35	40.5	600	25	—	—	—	7	8.2	—	400	—	—	—	IIIIC-20	0.08	0.25	930	36	
SW1-110	MT-110	110	121	600	50	29	—	—	14	13.2	—	500	—	—	—	CD ₅ -X	—	—	3000	600	
—	MT-110	110	121	600	50	29	—	—	14	13.2	—	—	—	2500	—						

零秒的短路容量来选择开关的容量。

当选择的油开关用作自动重合闸时，油开关的切断容量应该降低，其数据由制造厂家规定。

油开关的选择除满足以上三个条件外，在具体工程设计中对于选择的开关还要进行热稳定和机械强度的校验。

各种高压开关的技术数据见表8-30。

2. 高压负荷开关的选择

高压负荷开关能在工作电压及额定电流下开断与闭合电路，它不能用来切断短路电流。但是，在装置负荷开关的电路上当同时装有高压熔断器时，即可用来切断过负荷及短路电流，故在农村3~10千伏电网中被广泛地用来代替高压开关控制电路。

在规划中负荷开关的选择可按最大工作电压及额定电流来进行，在具体工程设计时，还需进行短路电流的动稳定和热稳定以及断流容量的校验。

按照《中华人民共和国电器产品样本》(1961年版)，国产高压负荷开关分为FN1-10、FN1-10R及FW1-10三种型号。

FN1-10型负荷开关是户内高压配电装置，可装在高压开关柜和成套变电所中，它能够在额定电压及额定电流下开断和闭合电路。

FN1-10R型负荷开关带有RN1-10型熔断器，故可保护过载及短路，而用以代替开关。

表 8-31 FN1-10 型技术数据

额定电压 (千伏)	最大工作电压 (千伏)	额定电流 (安)	开断电流 (安)	最大开断电流 (安)	极限通过电流		10秒钟热稳定电流 (千安)
					峰值 (安)	有效值 (千安)	
6	6.9	400	400	800	25	14.5	6
10	11.5	200	200	400	25	14.5	6

FW1-10型负荷开关系单相的户外高压电器设备，它在工作

的短路容量不应大于油开关额定切断容量。通常油开关额定切断容量是按短路后0.2秒的短路容量计算。在作规划设计时，可用

电压及额定电流下开断和闭合电路，由于它是户外式，适宜装在户外线路的电杆上。

有关负荷开关的技术数据见表8-31和表8-32。

表 8-32 FW1-10型技术数据

额定电压 (千伏)	最高工作电压 (千伏)	额定电流 (安)	开断电流 (安)	断流容量 (兆伏安)	极限通过电流		10秒钟热稳定电流 (千安)
					峰值 (千安)	有效值 (千安)	
6	6.9	400	1000	10	25	14.5	6
10	11.5	400	900	15	25	14.5	6

3. 高压隔离开关的选择

高压隔离开关主要用于使一部分高压装置与带电电路隔离，隔离开关一般只能进行无电流操作，但在回路中没有安装开关时，可使用隔离开关进行下列操作：

- (1) 开、合电压互感器和避雷器；
- (2) 开、合母线和直接连接在母线上设备的电容电流；
- (3) 开、合变压器中性点的接地线，但当中性点上接有消弧线圈时，只有在系统没有接地故障时才可进行；
- (4) 与开关并联的旁路隔离开关，当开关合上时，可以开、合开关的旁路电流；

(5) 开、合励磁电流不超过2安的无负荷变压器和电容电流不超过5安的无负荷线路，但是电压在20千伏及以上的线路应使用屋外三联隔离开关；

(6) 用屋外三联隔离开关开合电压10千伏及以下，电流15安以下的负荷；

(7) 开、合电压10千伏以下，70安以下的环路均衡电流。

在规划中，高压隔离开关的选择按额定电压和额定电流进行。在具体工程设计中还需进行热稳定及动稳定的校验。

有关隔离开关的技术数据见表8-33。

表 8-33 隔离开关的基本特性

型	号		额定电压 (千伏)	额定电流 (安)	动稳定电流(千安)		10秒钟热 稳定电流 (千安)	驱 动 机 构 (操作机构)
	现 采 用 型 号	原 采 用 型 号			峰 值 i_{max}	有 效 值 I_{eff}		
户 内 型								
GN1-10/400		PJBO-10/400	10	400	50	29	10	HP-1560
GN1-10/600		PJBO-10/600	10	600	60	35	14	HP-1560
GN1-10/1000		PJBO-10/1000	10	1000	80	47	26	CG ₁ -2-2
GN1-10/2000		PJBO-10/2000	10	2000	85	50	36	CG ₁ -2-2
GN2-6/400		PJBH-6/400	6	400	45	27	10	CG ₁ -2-1
GN2-6/600		PJBH-6/600	6	600	60	43	14.5	CG ₁ -2-1
GN2-10/400		PJBH-10/400	10	400	45	27	10	CG ₁ -2-1
GN2-10/600		PJBH-10/600	10	600	90	43	14.5	CG ₁ -2-1
GN2-10/1000		PJBH-10/1000	10	1000	80	50	28.5	CG ₁ -2-2
GN2-10/2000		PJBH-10/2000	10	2000	85	50	36	CG ₁ -2-2
GN2-10/3000		PJBH-10/3000	10	3000	100	60	50	CG ₁ -3
GN2-35/400		PJBH-35/400	35	400	50	30	10	CG ₁ -2-2
GN2-35/600		PJBH-35/600	35	600	50	30	14	CG ₁ -2-2
GN3-10/3000		PBY-10/3000	10	3000	200	120	85	CG ₁ -5, CJ ₂
GN3-10/4000		PBY-10/4000	10	4000	200	120	85	CG ₁ -5, CJ ₂
GN6-6/400		PB-6/400	6	400	50	29	10	CG2-1
GN6-6/600		PB-6/600	6	600	60	35	14	CG2-1

續表

型	號		額定电压 (千伏)	額定电流 (安)	動穩定电流(千安)		10秒钟热 穩定电流 (千安)	驅 动 机 构 (操作机构)
	現 采 用 型 号	原 采 用 型 号			峰 值 i_{max}	有 效 值 I_{max}		
戶	GN6-10/400	PB-10/400	10	400	50	29	10	CG2-1
	GN6-10/600	PB-10/600	10	600	60	35	14	CG2-1
	GN6-6/400	PB6-6/400	6	400	50	29	10	CG2-1
	GN6-6/600	PB6-6/600	6	600	60	35	14	CG2-1
	GN8-10/400	PB8-10/400	10	400	50	29	10	CG2-1
	GN8-10/600	PB8-10/600	10	600	60	35	14	CG2-1
	GN9-20/6000	PBK-20/6000	20	6000	250	145	75	CG ₅ , CJ ₂
	GN9-20/8000	PBK-20/8000	20	8000	250	145	75	CG ₅ , CJ ₂
外								
型	GW1-6/200	PTH-6/200	6	200	15	9	5	IPH-10
	GW1-6/400	PTH-6/400	6	400	25	15	10	IPH-10
	GW1-10/200	PTH-10/200	10	200	15	9	5	IPH-10
	GW1-10/400	PTH-10/400	10	400	25	15	10	IPH-10
	GW1-10/600	PTH-10/600	10	600	35	21	14	IPH-10
	GW2-35(D)/600	PTH(Z)-35M/600	35	600	50	29	10	CG4-3, (CG4-20)
	GW2-35(D)/1000	PTH(Z)-35/1000	35	1000	50	29	15	CG4-3, (CG4-20)
	GW2-60(D)/600	PTH(Z)-60M/600	60	600	50	29	10	CG4-3, (CG4-20)
	GW2-60(D)/1000	PTH(Z)-60/1000	60	1000	50	29	15	CG4-3, (CG4-20)

續表

型	號		額定电压 (千伏)	額定电流 (安)	動穩定电流(千安)		10秒钟热 穩定电流 (千安)	驅 动 机 构 (操作机构)
	現 采 用 型 号	原 采 用 型 号			峰 值 i_{max}	有 效 值 I_{max}		
GW2-110(D)/600		PTH(Z)-110M/600	110	600	50	29	10	CG4-3, (CG4-20)
GW2-110(D)/1000		PTH(Z)-110/1000	110	1000	50	29	15	CG4-3, (CG4-20)
GW2-110Z/600		PTHO-110/600	110	600	50	29	10	CG6-1
GW2-154D/600		PTH(Z)-154/600	154	600	50	29	10	CG6-2, CJ1-220
GW2-220D/600		PTH(Z)-220/600	220	600	50	29	10	CG6-2, CJ1-220
GW3-35D/600		—	35	600	50	29	10	QCB-110 X或CQH
GW3-35(D)/1000		—	35	1000	50	29	15	QCB-110 X或CQH
GW3-60(D)/600		—	60	600	50	29	10	QCB-110 X或CQH
GW3-60(D)/1000		—	60	1000	50	29	15	QCB-110 X或CQH
GW3-110(D)/600		—	110	600	50	29	10	QCB-110 X或CQH
GW3-110(D)/1000		—	110	1000	50	29	15	QCB-110 X或CQH
GW3-35Q/600		—	35	600	50	29	10	QCB-110 X或CQH
GW3-35Q/1000		—	35	1000	50	29	15	QCB-110 X或CQH
GW3-60Q/600		—	60	600	50	29	10	QCB-110 X或CQH
GW3-60Q/1000		—	60	1000	50	29	15	QCB-110 X或CQH
GW3-110Q/6000		—	110	6000	50	29	10	QCB-110 X或CQH
GW3-110Q/1000		—	110	1000	50	29	15	QCB-110 X或CQH

表8-33中的有关符号说明如下:

(1) 国产隔离开关以户内装置与户外装置区分。型号意义如下:

G——隔离开关; N——户内; W——户外; D——带接地刀闸。

表中在D字上加括号者表示同时有带接地刀闸及不带接地刀闸的两种类型; 其操动机构, 无括号者指不带接地刀闸时所用, 有括号表示带接地刀闸时所用。

Z——单柱式; Q——快速动作的。

(2) GN₁系单相隔离开关, 所用操动机构 III P-1560 为绝缘钩棒; GN₂系三相隔离开关; GN₃系加强型三相隔离开关; GN₄与GN₃相似, 但尺寸较小, 适合于成套设备中安装; GN₅为复杂型, 在支持绝缘子中有导体可以通过; GN₆为大电流的隔离开关, 可单级操作, 也可以三极联动。

(3) GW₁均为三极联动, 电源电压均不高; GW₂为35千伏以上的隔离开关, 有带接地刀闸的; GW₃为V形隔离开关, 带接地刀也有快速动作的。

(4) CQB-110X 为气动操动机构; CQH 为手动操动机构。

4. 高压熔断器的选择

熔断器是用来切断线路过载和短路电流的最简单和最便宜的电器, 在农业电气装置中可以广泛采用。

高压熔断器的选择需按下列各项条件进行。

(1) 按工作电压选择

1) 所选择的高压熔断器必须合乎下列要求:

$$U \leq U_{x.a.}$$

式中 U ——高压熔断器实际工作电压;

$U_{x.a.}$ ——高压熔断器的允许最大电压。

2) 选择填石英砂的高压熔断器(如 DS 型)时, 它的工作电压等级和额定电压必须相等, 如6千伏的石英砂熔断器, 既不能用

在3千伏, 也不能用在10千伏的电力网中。

(2) 按持续工作电流选择

所选择的高压熔断器其熔件的额定电流必须符合下列要求:

$$I \leq I_{r.f} \leq I_{r.g}$$

式中 I ——持续工作电流;

$I_{r.f}$ ——熔件的额定电流;

$I_{r.g}$ ——熔断器的额定电流。

(3) 按保护选择性选择

采用高压熔断器保护时, 必须考虑与下列保护装置的配合:

1) 装设在网络各段上的熔断器, 保证相互间动作的选择性以及熔断器和与位于电源侧的保护装置之间的动作选择性;

2) 保证装设在变压器高压侧的熔断器与供电线路的继电保护装置之间的动作选择性。当变压器高压侧发生短路时, 熔断器的全部断开时间(熔断器的熔件熔化时间与灭弧时间之和)应小于靠近电源侧元件的继电保护装置的動作時間(对相应的电流而言);

3) 选择保护变压器的熔断器时, 低压侧的熔断器应承担变压器大量过负荷, 并对低压电力网短路起保护作用; 因此变压器低压侧熔断器的全部动作时间应小于变压器高压侧熔断器熔件的熔化时间。高压侧的熔断器应在变压器出线端子短路以及在变压器遭受最严重的内部故障时起保护作用。

根据以上情况, 当选用 DS 型高压熔断器来保护变压器时, 其高压熔件的选择见表8-34。

熔断器的基本特性如表8-34到表8-38所示, 表8-39是 DS 型熔断器熔件的额定电流与被保护变压器容量的配合表。

表 8-34 RMIG 型(即 IPI-M 型)低压熔断器及熔件的规格

額 定 电 流 (安)		熔 断 器 熔 件 断 流 容 量 (安)		注
熔 断 器	熔 件	額定电压为250及500伏 (交流装置)	額定电压为250伏的熔断 器用于380伏交流装置	
15	6, 10, 15	1200	600	圆柱触头
60	15, 20, 25, 35, 60	3500	3000	圆柱触头
100	60, 80, 100	10000	6000	刀型触头
200	100, 125, 160, 200	10000	6000	刀型触头
350	200, 225, 260, 300, 350	12000	—	刀型触头
600	350, 430, 500, 600	12000	—	刀型触头
1000	600, 700, 800, 1000	12000	—	刀型触头

表 8-35 DS 型高压熔断器规格(仿苏 IIR 型)

型 号	DS-3		DS-6		DS-10		DS-35	
額 定 电 压	3 千伏		6 千伏		10 千伏		35 千伏	
熔断器额定电流(安) 最小切断电流与熔件额定电流之比 三相断流容量(兆伏安) 限流峰值(千安)	20	不规定	20	不规定	20	不规定	10	不规定
	100	1.3	400	1.3	200	1.3	100	1.3
	200	1.3	200	1.3	200	1.3	200	1.3
	200	200	200	200	200	200	200	200
	6.5	24.5	50	3.2	25	4.5	15.5	1.5
								2.8

表 8-36 DSH 型高压熔断器规格(仿苏 IKT 型)

型 号	DSH-10			DSH-20		DSH-35
額定电压(千伏)	3	6	10	15	20	35
断流容量(兆伏安)	500	1000	1000	1000	1000	1000
限流峰值(千安)	100	85	50	40	30	17

表 8-37 DJ 型角式熔断器规格(仿苏 IIPH 型)

型 号	額定电流(安)	熔断电流(安)	熔 件	
			材 料	直徑(毫米)
DJ-35/0.5	0.5	0.6~1.8	鍍 銅	0.07
DJ-35/2	2	3~4	鉄	0.25
DJ-35/3	3	4.5~6	鉄	0.35
DJ-35/7.5	7.5	12~15	紫 銅	0.25

注: DJ-35/0.5 角式熔断器专供保护电压互感器用, 应用中应附加 XJ-35 型(仿苏 CPH-35 型)电阻器, 附加电阻为396欧。

表 8-38 DL 型和 DLC(一次重合)型跌式熔断器规格

型 别	型 号	額定电压 (千伏)	电压使用 范 围 (千伏)	熔管額定 电 流 (安)	熔件額定电流 范 围 (安)
輕 型	DL-3/60, DLC-3/60	3	2.3~4.0	60	1, 2, 3, 5, 10
	DL-10/60, DLC-10/60	6~10	6.0~11.5		15, 20, 25, 30, 40
	DL-15/60, DLC-15/60	15	13.2~17.5		50, 60
重 型	DL-3/100, DLC-3/100	3	2.3~4.0	100	75, 100
	DL-10/100, DLC-10/100	6~10	6.0~11.5		
	DL-15/100, DLC-15/100	15	13.2~17.5		
特重型	DL-3/200, DLC-3/200	3	2.3~4.0	200	125, 150, 200
	DL-10/200, DLC-10/200	6~10	6.0~11.5		
	DL-15/200, DLC-15/200	15	13.2~17.5		

表 8-39 DS型(旧IIK型)高压熔断器熔件的额定电流与
被保护变压器容量的配合

变压器的 额定电流 (安)	熔断器熔件 的额定电流 (安)	被保护的变压器在下列电压时的额定三相功率 (千伏安)			
		3 千伏	6 千伏	10 千伏	35 千伏
0.5	2		5	10	
1	3	5	10	20	50
1	5	10	20	30	100
3	7.5		30	50	180
5	10	20	50	75	
8	15	30	75	100	320
10	20	50	100	135	560
14.5	30	70	135	180	1000
20	40	100	180	320	
30	50		320	560	
54	75	240	560	750	
70	100	320	750	1000	
100	150	560	1000	1500	
145	200	750	1500		
210	300	1000			
300	400	1500			

附 录

本手册名词的代表符号,除了国际通用符号外,采用了拼音字母来代表。其办法是把名词中某一字拼音文字的第一个字母作为该名词的代表符号。例如,投资用资字拼音字母的第一字Z来代表。至于符号的下脚注一般也用同样办法,但通常用两个小写字母(每一字母代表一字)来代表。例如,以*e·d*来代表额定。这是一个尝试,请大家多提意见。

<i>B</i>	成本	<i>M</i>	面积
<i>D</i>	定额	<i>N</i>	年
<i>F</i>	费用	<i>R</i>	容量(发电容量等用)
<i>J</i>	价格	<i>X</i>	系数,常数,率
<i>L</i>	量(电量等用)	<i>Z</i>	投资

下脚注代表符号:

<i>a.zh</i>	安装	<i>g.t</i>	杆塔
<i>b.ch</i>	补充	<i>j.d</i>	接地
<i>b.d</i>	变电(所)	<i>j.j</i>	经济
<i>b.s</i>	变(压器)损(失)	<i>j.s</i>	计算
<i>b.y</i>	变压器	<i>j.t</i>	接头
<i>b.zh</i>	标准	<i>j.zh</i>	基准
<i>ch.y</i>	厂用(电)	<i>k.k</i>	开关
<i>d</i>	电	<i>k.s</i>	空载
<i>d.ch</i>	抵偿	<i>m</i>	煤
<i>d.l</i>	短路	<i>n.s</i>	能损
<i>d.n</i>	电能	<i>p.j</i>	平均
<i>d.x</i>	导线	<i>q.t</i>	其他
<i>d.y</i>	低压	<i>r.j</i>	熔件
<i>e.d</i>	额定	<i>r.l</i>	燃料
<i>f.d</i>	发电厂	<i>r.q</i>	熔器
<i>f.s</i>	负载	<i>s.x</i>	损耗
<i>g.d</i>	固定,供电	<i>sh.x</i>	生活
<i>g.s</i>	归算	<i>t.sh</i>	同时

$w \cdot s$	網損
$x \cdot l$	綫路
$x \cdot s$	綫損
$x \cdot t$	系統

$z \cdot d$	最大
$z \cdot f$	雜費
$z \cdot h$	綜合

漿糊祇黏點線以上 用反面時齊點線漸下再貼

期限表

下列最後之日期本書必須歸還

[illegible]

商 18A

Y232

5614

C

書 冊

登記号 0072022

21A2

統一書號：
15165·2911(水电-398)
定 价：1.40 元